

研 究 報 告

RESEARCH REPORT

第 2 4 号
(2012年3月)

第 一 工 業 大 学

Daiichi Institute of Technology

目 次

酒 井 謙 二	渦放出法による高揚力装置まわりの空力解析……………	1
岩 崎 洋 平 酒 井 謙 二	人力飛行機の胴体フェアリングの設計・製作……………	9
田代 健航・田頭 千波 田之上駿史・中村俊一郎	単発機エルロンの製作及び修理……………	15
岡 部 徳 之 中 村 俊一郎	人力飛行機用炭素繊維強化プラスチックの強度……………	21
皮籠石 紀 雄 仮 屋 孝 二	Al 合金溶湯鍛造材AC4CH-T6 の中高温下における疲労き裂伝ば特性 ……	29
大 恵 克 俊	頸部筋電位信号を用いた発声補助装置制御システムに関する研究……………	35
仮 屋 孝 二 皮籠石 紀 雄 中 村 祐 三	高湿度中における時効硬化Al合金の疲労特性に及ぼす時効組織の影響…	41
吉 田 清 司	ヒノキに含まれる植物生育阻害物質の除去および阻害物質の 微生物への影響……………	49
永 江 寿 洋 福 島 順 一	撓角法における到達率 $C = 0.5$ の実験的検証 ……	55
半 田 潤 生 根 本 修 平	第一工業大学建替え計画……………	59
中 蘭 政 彦	技術・家庭科教育の過去から未来を見る。（調査研究）……………	63
今 市 隆 一	H. J. ラスキの多元的国家論 — 「主権三部作」を中心に — (1) ……	75
平成23年度において学外に発表された論文及び講演 ……		83

CONTENTS

Kenji SAKAI : The Improved Vortex Shedding Method to calculate the High Lift Device which are Slat, Wing and Flap Combinations	1
Youhei IWASAKI and Kenji SAKAI : The Design and the Fabrication of the Body Fairing for the Man Powered Airplane	9
Kenko TASHIRO, Chinami TAGASHIRA, Takafumi TANOUE, Shunichiro NAKAMURA : Manufacture and Repair the Aileron of Single Engine Propeller Driven Airplane	15
Toshiyuki OKABE and Shunichiro NAKAMURA : Strength of CFRP laminates for Human-powered Airplane	21
Norio KAWAGOISHI and Kohji KARIYA : Growth Properties of a Fatigue Crack of Squeeze Cast Al Alloy AC4CH-T6 at Elevated Temperatures	29
Katsutoshi OOE : Control System for Speech Assistance Devices with Neck Myoelectric Signal	35
Kohji KARIYA, Norio KAWAGOISHI and Yuzo NAKAMURA : Effect of Aging Structure on Fatigue Properties of Age-Hardened Al Alloy in High Humidity	41
Seiji YOSHIDA : Removal of Plant Growth Inhibitor Included in Hinoki Cypress and Influence on Microbe	49
Toshihiro NAGAE and Jun-ichi FUKUSHIMA : Experimental inspection of the Carry over factor $C=0.5$ in Slope-deflection method	55
Junki HANADA and Shuhei NOMOTO : Rebuild Daiichi Institute of Technology	59
Masahiko NAKAZONO : The Prospect of Future Education Through the Past Educational Practices of the Technical and Homemaking Course	63
Ryuichi IMAICHI : Pluralistic Theory of the State of Harold J.Laski ; Study of His Earlier View on Sovereignty	75

渦放出法による高揚力装置まわりの空力解析

酒 井 謙 二

第一工業大学 航空工学科 (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail:k-sakai@daiichi-koudai.ac.jp

The Improved Vortex Shedding Method to calculate the High Lift Device which are Slat, Wing and Flap Combinations

Daiichi Institute of Technology
Kenji SAKAI

The vortex shedding method has been improved to calculate the two dimensional high lift device, which are slat, wing and flap combinations. The improvement are the inner vortex position, the reduction of calculating time, the vortex position and the position of Kutta condition. Two high lift devices are studied and these results are demonstrated that this method is useful to calculate the aerodynamic characteristics for the high lift device.

Key Words : Vortex Shedding Method, High Lift Device, Air Plaine, Pressure Distribution

1. はじめに

渦放出法は粘性流の模擬解析ができるうえ、パネル法をベースにしているため、差分法による粘性流解析に比べて、計算準備や計算時間は格段に短いという利点を持っている。そのため、設計には有効な手段と考えられる。

渦放出法によって、簡単な形状まわりの粘性流の模擬解析ができることは参考文献(1)で示した。しかし、もっと複雑な形状や形態について、渦放出法を適用した例は少ない。

今回、スラット・主翼・フラップを持つ高揚力装置まわりの解析へその適用範囲を広げ、その有効性を検討した。

2. 渦放出法の概要

この解析法の基本思想はクッタの条件に通じる。

迎角を持つ翼が流れに置かれたとすると、図 2.1 に示すようにスタート時に後縁を回る流れが存在する。しかし、非粘性流れと異なり、後縁を回る流れは負の圧力に耐えきれず、すぐに後流渦を放出して後縁を起点とする流れを形成する。従って、後縁を起点とする流れを形成するというクッタの条件を満たす非粘性流れを解くということは第 1 次近似として粘性流を解くことになる。

このことは図 2.2 のベースフローにも適用できる。角を回り込む流れが無いように各時間毎に放出する渦の強さと位置を決めることができれば、非定常解となるが、翼と同様に第 1 次近似の粘性流を求めることができる。

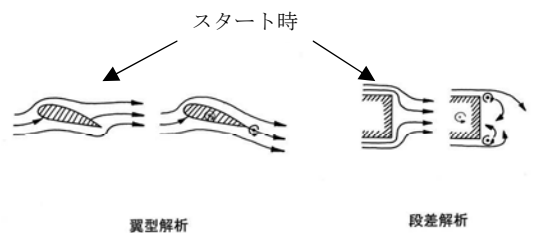


図 2.1 翼解析

図 2.2 ベースフロー解析

3. 渦放出法のステップ解析

角近傍に放出渦を置き、角を回り込む流れが無いように放出渦の強さを決める。同時にヘルムホルツの渦定理（非粘近似では全体の渦強さは変らない）により、反対の強さの渦を、物体内に生じさせる。

次に渦によって誘導される速度を計算し、次の渦の位置を計算する。渦の位置の計算には、急激な位置変化による計算誤差を少なくするため、Taylor 展開を使って次の渦位置を計算した。

ステップ時間後に渦が後方へ移動すると、クッタの条件を満たすために新たな放出渦が必要となる。新たな放出渦を角近傍に置き、回り込む流れが無いという条件で、同様に渦の強さを決める。翼の場合は、この繰り返しが進むにつれて、翼内部の渦強さが大きくなり、翼内部の渦強さだけでクッタの条件を満たす定常解に漸近する。

計算時間を短縮するために、参考文献(1)では下記のことを行った。

- ①ステップごとの逆行列計算を省略する方法を導入した。
- ②位置が変る放出渦の誘導速度の計算は省略できないが、固定の物体からの誘導速度計算などの重複計算を回避した。

4. 各種基本形状の解析検討

(参考文献 (1) 参照)

4. 1 翼型まわりの解析

2次元翼まわりのスタート時からある時間後までの解析結果と、試験結果の比較を図 4.1 に示す。両者は良い一致を示す。

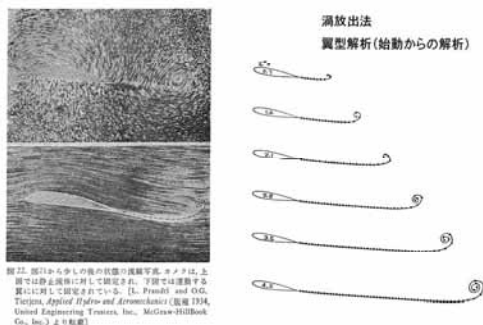


図 4.1 翼解析の風洞試験との比較

翼の揚力係数と放出渦強さの時間履歴を図 4.2 に示す。

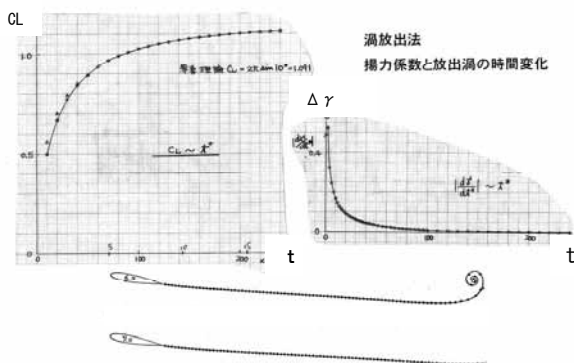


図 4.2 翼の揚力、放出渦の時間履歴
 $CL \sim t$ 、 $\Delta \gamma \sim t$

この図から、揚力係数、内部渦とも、定常解に漸近するのが分かる。

4. 2 ベースフローまわりの解析

ベースフローを渦放出法で解いた結果と実験との比較を図 4.3 に示す。

この例では、渦は上下から交互に発生し、一般的に言われるカルマン渦を形成する。両者は良い一致を示しているといえる。

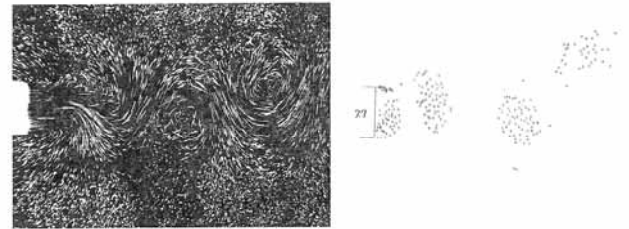


図 4.3 ベースフローへの適用

4. 3 上下運動している翼まわりの解析

翼が上下に運動している(Heaving Motion)場合の計算結果と試験結果の比較を図 4.4 に示す。

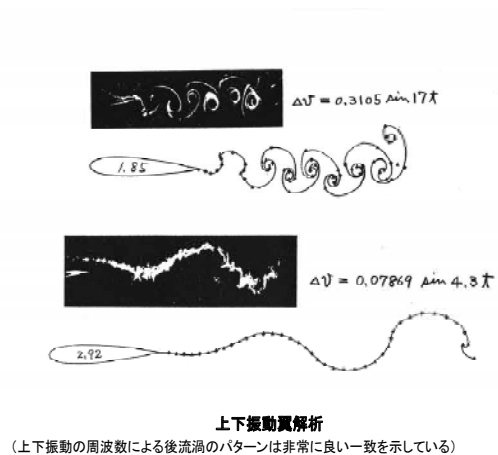


図 4.4 上下運動翼まわり解析の比較

後流の渦パターンを含め、解析結果は風洞試験結果と良い一致を示す。

5. 渦放出法の高揚力装置解析への改良検討

今回、新たに高揚力装置の解析に対し、

- ①計算精度の向上
- ②計算時間の短縮
- ③物体内へ流入した渦の処理
- ④クッタの条件位置の検討

を行った。なお、今回の検討では、手法の有効性を評価するために、表 5.1 に示す2形態の高揚力装置の解析を行った。

2つの形態の差は、翼素の形は同じだが、スラット、フラップの位置に差がある。位置の定義を図 5.1、

図 5.2 に示す。

	ベースライン 形態	デザイン 形態
スラット舵角	25.0°	23.1°
スラットギャップ	0.0169C	0.0293C
スラット オーバーラップ	0.0050C	-0.0096C
フラップ 舵角	35.0°	40.0°
フラップギャップ	0.01660C	0.01164C
フラップ オーバーラップ	0.01000C	0.00922C

表 5.1 2形態のスラット、フラップ位置

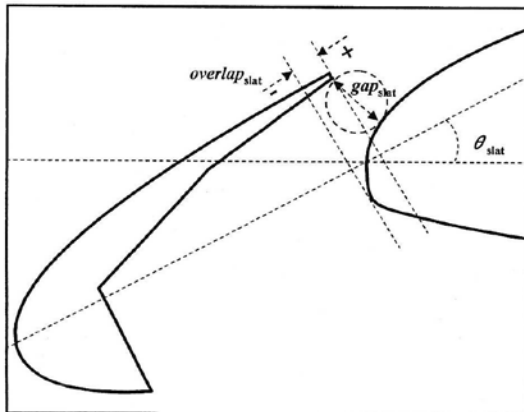


図 5.1 スラット位置の定義

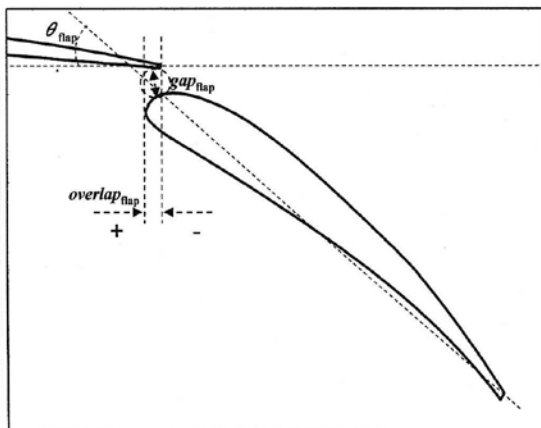


図 5.2 フラップ位置の定義

5. 1 計算精度の向上

参考文献(1)では、内部渦はキャンバーライン上に置いていたが、精度向上を図るため、今回は翼素の表面に置くこととした。

5. 2 計算時間の短縮

参考文献(1)の計算でも、重複計算を避ける改良

を行ったが、今回もう一度全面的に見直し、繰り返し計算での重複を避けるようにした。今回の改善により、今回の高揚力装置の場合で定常解を得るまでに、1ケースあたりパソコンで3時間程度の計算時間に短縮できた。

5. 3 物体内へ流入した渦の処理

放出渦は誘導速度によって各時間での渦位置が求まるが、計算によっては、物体内部に入る場合が生じる。これは実流れではありえないので、内部に入った渦は翼素の表面に戻すこととし、ソフトウェアに反映させた。処理した結果を図 5.3 に示す。

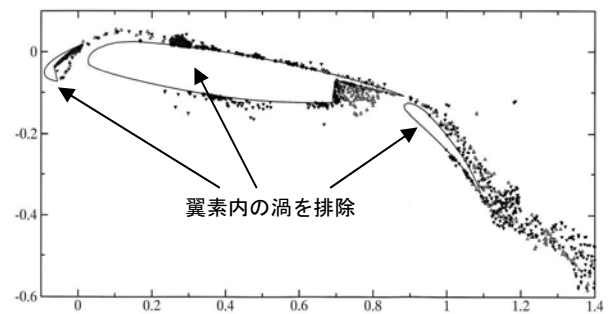


図 5.3 翼素内に入った放出渦の処理

5. 4 クッタの条件位置の検討

翼素角から発生させる放出渦位置については明確な指針は難しい。今回、クッタの条件位置について以下の2つの方法について比較検討を行った。

①速度ベース

各後縁から一様流速の 0.5% だけ離れた位置

②各翼弦ベース

各後縁から各翼弦の 0.5% 離れた位置

これらの方法を使って、2つの高揚力装置に適用した場合の、迎角 8° での揚力係数の時間履歴を図 5.4 に示す。

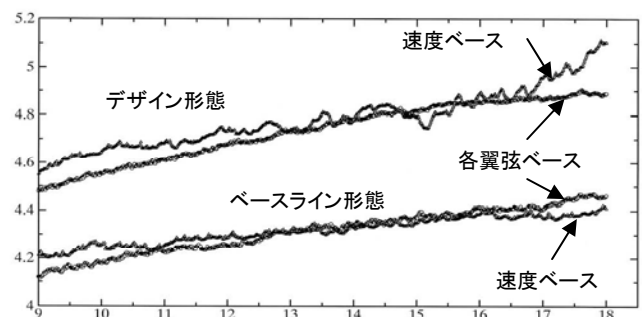


図 5.4 迎角 8° での揚力係数の時間履歴 CL~t(s)

この結果から、各翼弦ベースの方が解の安定が良いことが分かる。この検討をベースに、今回の計算では各翼弦ベースを採用した。クッタの条件による迎角 8° の圧力分布の比較を、ベースライン形態につい

て図 5.5 に、デザイン形態について図 5.6 に示す。

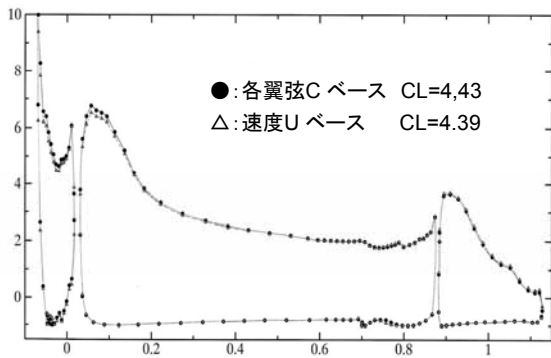


図 5.5 圧力分布の比較(1) $-C_p \sim x/c$
(ベースライン形態 迎角 8°)

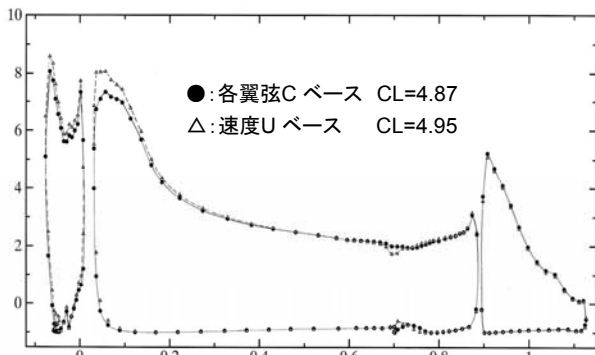


図 5.6 圧力分布の比較(2) $-C_p \sim x/c$
(デザイン形態 迎角 8°)

ベースライン形態での差は小さいが、デザイン形態では、主翼前方位置での圧力に差が生じている。

他の圧力分布の形からも、各翼弦ベースの方が滑らかで、妥当と考えられる。

6. ベースライン形態での計算結果の検討

6.1 放出渦位置

ベースライン形態の迎角 8° での計算結果を以下に示す。スタート時から 1.5 秒後の後流渦位置を、図 6.1 に示す。

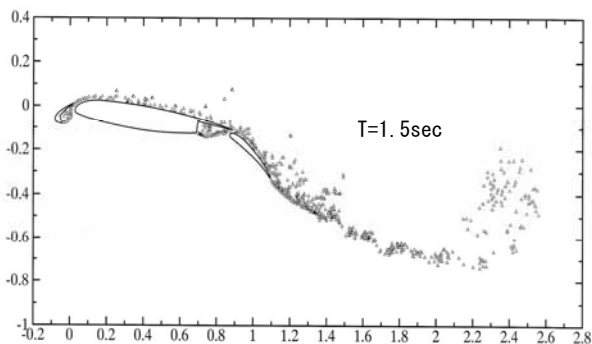


図 6.1 ベースライン形態の計算(1.5 秒後・迎角 8°)

フラップ上などに多くの放出渦があり、この時間で

は定常解とはなっていないことが分かる。

スタート時から 10 秒後と 18 秒後の後流渦位置を、図 6.2 に示す。左端の小さい形が翼を表す。18 秒後では、後に示す放出渦強さの結果も踏まえ、翼上は、ほぼ定常解になっているといえると考えられる。

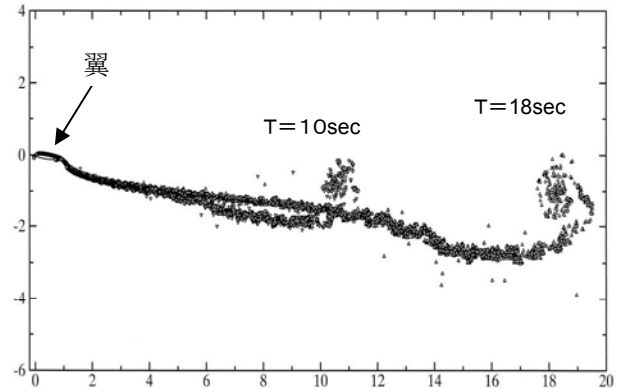


図 6.2 10秒後、18秒後の渦位置(迎角 8°)

18 秒後での翼近傍での渦位置を図 6.3 に示す。翼素内にためられた渦強さと、死水領域の渦位置が固定し、放出渦が少ない定常解が得られている。

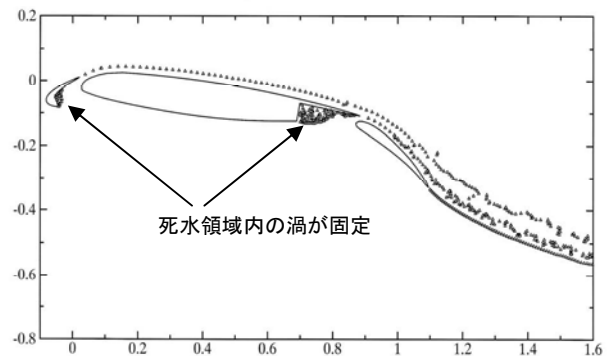


図 6.3 18 秒後の翼近傍での渦位置(迎角 8°)

6.2 放出渦強さの時間履歴

各後縁から放出される渦強さの時間履歴について検討する。

スラット下角とスラット後縁より放出される渦強さの時間履歴を図 6.4 と図 6.5 に示す。

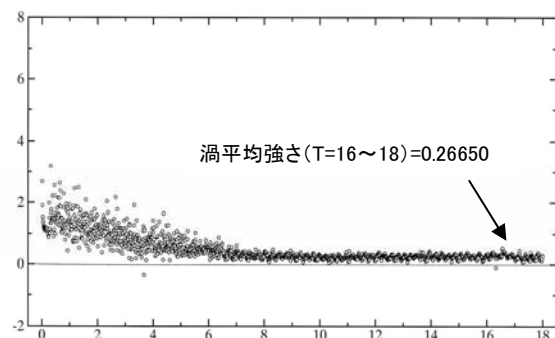


図 6.4 スラット下角からの放出渦強さ(迎角 8°)
 $\Delta \gamma \sim t(s)$

スラット下角から放出される渦の平均強さは、0.26650 に収束している。

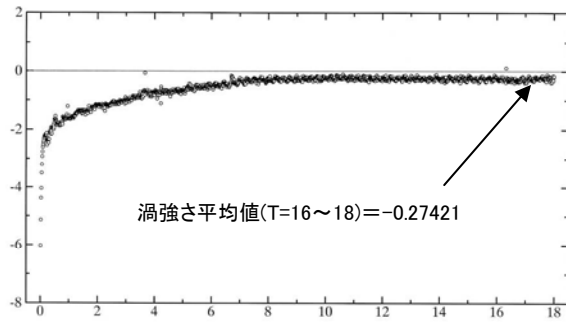


図 6.5 スラット後縁からの放出渦強さ(迎角 8°)
 $\Delta \gamma \sim t(s)$

スラット後縁から出る渦の平均強さは、-0.27421 に収束している。

スラット全体から放出される渦の平均強さは、両方を加えた値、 $0.26650 - 0.27421 = -0.00771$ と、0 に漸近しており、そこでは定常状態の結果を示しているといえる。

次に主翼下角と上角からの放出渦の時間履歴について図 6.6 と図 6.7 に示す。

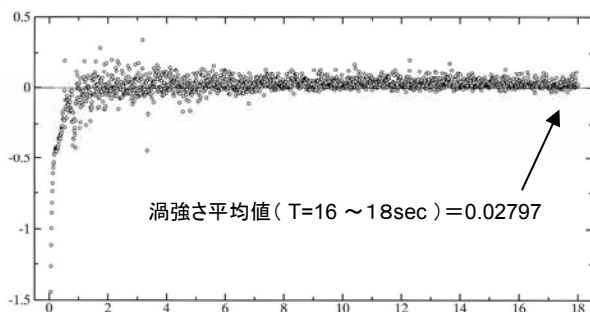


図 6.6 主翼下角からの放出渦強さ(迎角 8°)
 $\Delta \gamma \sim t(s)$

主翼下角からの放出渦の平均強さは、0.02797 に収束している。

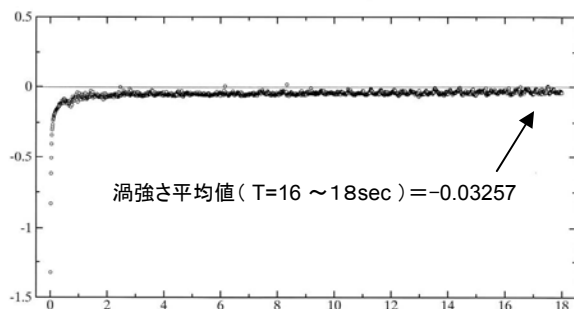


図 6.7 主翼上角からの放出渦強さ
 $\Delta \gamma \sim t(s)$

主翼上角からの放出渦の平均強さは、-0.03257 に収束している。従って、主翼内に蓄積される渦強さは、 $0.02797 - 0.03257 = -0.00460$ と、0 に漸近しており、そこでは定常状態の結果を示しているといえる。

次に、フラップ後縁から放出される渦強さの時間履歴を図 6.8 に示す。

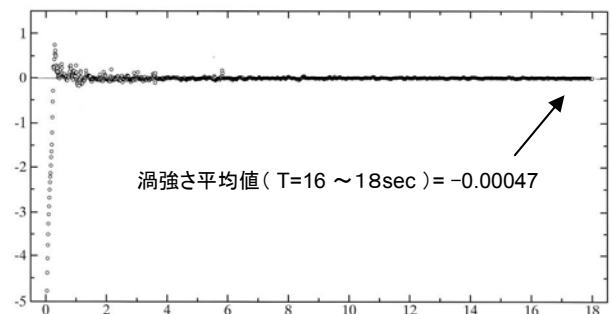


図 6.8 フラップ後縁からの渦強さ
 $\Delta \gamma \sim t(s)$

これからフラップから放出される渦の平均強さは -0.00047 と、0 に漸近しており、そこでは定常状態の結果を示しているといえる。

6.3 揚力係数の時間履歴

迎角 0° 、 4° 、 8° について、揚力係数の時間履歴を図 6.9 に示す。

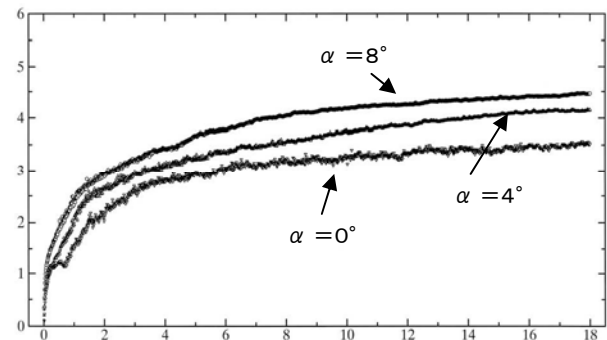


図 6.9 揚力係数の時間履歴
 $CL \sim t(s)$

16 秒～18 秒の揚力係数の平均値を取った値は $\alpha = 0^\circ$ で $CL = 3.49$ 、 $\alpha = 4^\circ$ で $CL = 4.13$ 、 $\alpha = 8^\circ$ で $CL = 4.43$ を示す。

迎角が大きくなるにつれて、揚力傾斜が小さくなり、粘性特性を表わしているといえる。

6.4 圧力分布の比較

NS 解析との比較を検討する。NS 解析は差分法で、レイノルズ数(Re 数) $= 1.23 \times 10^7$ 、マッハ数 $M = 0.184$ の条件で計算した結果である。迎角 8° での圧力分布の比較を図 6.10 に示す。

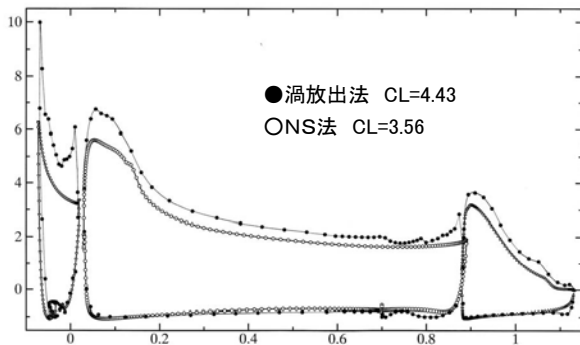


図 6.10 ベースライン形態での圧力分布の比較
(迎角 8°) $-C_p \sim x/c$

揚力係数は、渦放出法が、 $CL=4.43$ に対し、NS 解析が、 $CL=3.56$ を示し、約 2 割の差がある。

従って、揚力係数を近い値で比較するために、渦放出法は迎角 4° と NS は迎角 8° の比較を図 6.11 に示す。

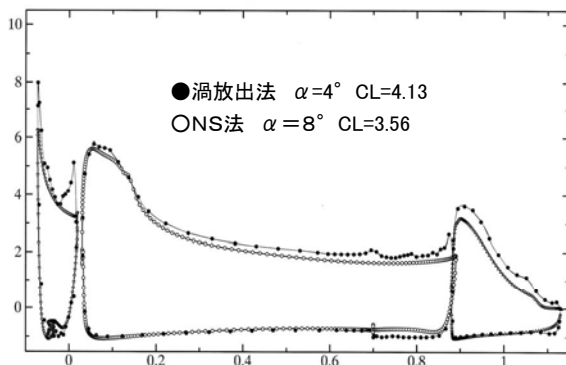


図 6.11 揚力を合わせての比較検討
(ベースライン形態) $-C_p \sim x/c$

広範囲に亘って、両者の一致は良いが、スラット後縁付近と主翼後縁付近で差が見られる。

後縁での圧力の連続性から考えると、図 6.12 のように渦放出法のほうが妥当と考えられることもできるが、今後の検討課題である。

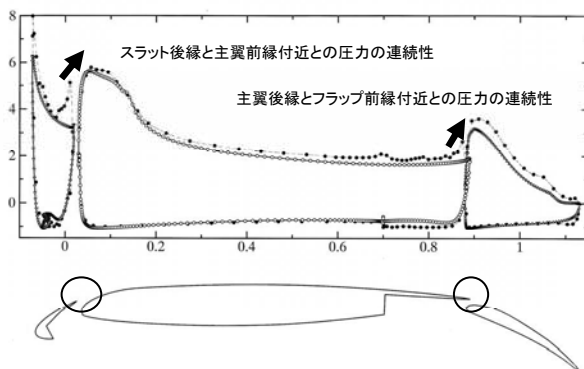


図 6.12 後縁近傍での圧力分布の差の検討
 $-C_p \sim x/c$

7. デザイン形態の計算結果の検討

デザイン形態の計算結果の検討を行う。

迎角 8° の、渦放出法の計算と NS 計算との圧力分布の比較を図 7.1 に示す。揚力係数は、渦放出法が、 $CL=4.87$ に対し、NS 解析が、 $CL=3.80$ を示し、ベースライン形態同様、約 2 割の差がある。

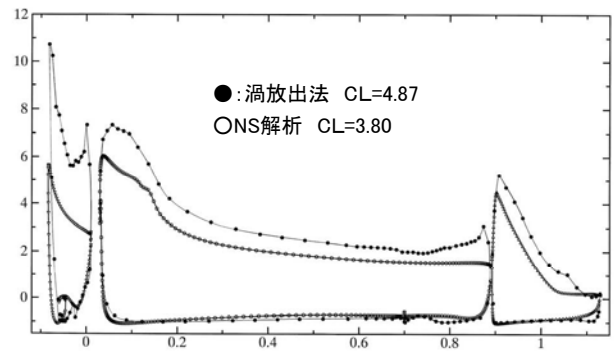


図 7.1 デザイン形態での圧力分布の比較
(迎角 8°) $-C_p \sim x/c$

ベースラインと同じく、揚力の近い渦放出法の迎角 4° と NS 解析の迎角 8° との圧力分布の比較を図 7.2 に示す。

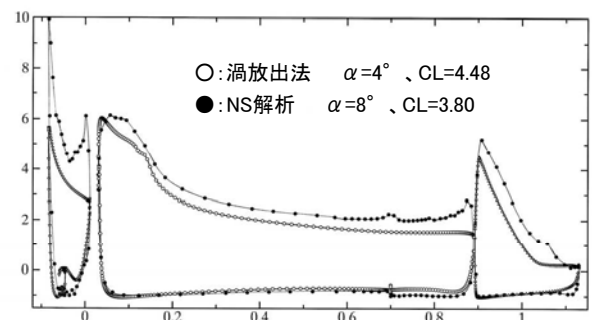


図 7.2 揚力を合わせての圧力分布の比較
(デザイン形態) $-C_p \sim x/c$

ベースライン形態同様、スラット後縁付近での差が大きいが、全般的に良い一致を示しているといえる。

8. 両形態の渦放出法の解析結果の比較検討

2形態の迎角 8° の揚力係数の時間履歴の比較を図 8.1 に示す。

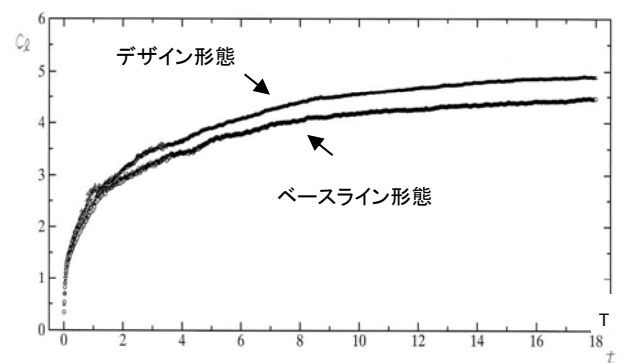


図 8.1 迎角 8° での形態による揚力履歴差
 $CL \sim t(s)$

定常時での迎角 8° での揚力係数の比較を表 8.1 に示す。

CL の比較	渦放出法	NS 解析
①ベースライン形態	4.43	3.56
②デザイン形態	4.87	3.80
比(②/①)	1.10	1.07

表 8.1 迎角 8° の定常時での揚力係数の比較

揚力係数の絶対値の差はあるものの、ベースライン形態とデザイン形態との比は良い一致を示しているといえる。

2形態の渦放出法による圧力分布の、迎角 8° での比較を図 8.2 に、迎角 4° の比較を図 8.3 に示す。

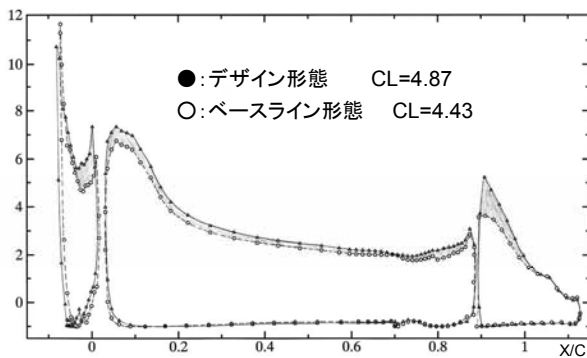


図 8.2 迎角 8° での圧力分布の比較
- $C_p \sim x/c$

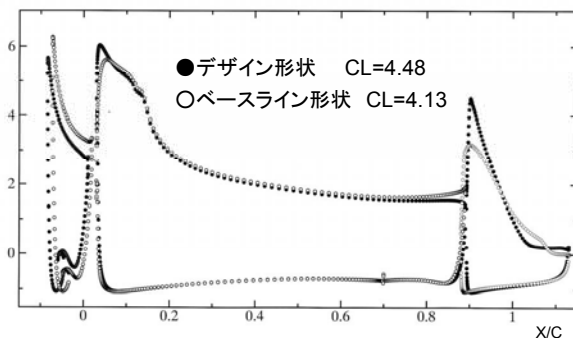


図 8.3 迎角 4° での圧力分布の比較
- $C_p \sim x/c$

スラット後縁荷重やフラップ圧力分布の差など、デザイン形態とベースライン形態との差を計算できており、渦放出法の解析手法が有効であると考えられる。

9. 今後の課題

今後の課題を以下に示す。

- ①スラット後縁、主翼後縁付近の圧力分の NS 解析との差の検討
- ②精度の向上、ロバスト性の向上、仕様マニュアルの作成
- ③他の形態について解析検討

10. まとめ

渦放出法による高揚力装置の流れ解析のための追加改良を実施した。手法の有効性を評価するため、2形態の高揚力装置の流れについて解析を行った。その結果、高揚力装置の流れの解析に対しても渦放出法が有効であることを確認した。

11. 謝辞

最後になりましたが、渦放出法の研究のきっかけを作っていただき、またその後の指導もしていただきました、故谷一郎先生に感謝申し上げます。

12. 参考文献

- (1)酒井 謙二 ‘渦放出法による流れ解析’
第 18 回風洞研究会議 1977 年 6 月
- (2)R.R.Clements ‘An inviscid model of two-dimensional vortex shedding’ J.Fluid Mech.(1973),vol.57,part2,pp.321-336

人力飛行機の胴体フェアリングの設計・製作

岩 崎 洋 平¹ ・ 酒 井 謙 二²

¹ 第一工業大学 学科学生 航空宇宙工学科

² 第一工業大学 教授 航空工学科

(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

² E-mail:k-sakai@daiichi-koudai.ac.jp

The Design and the Fabrication of the Body Fairing for the Man Powerd Airplane

Daiichi Institute of Technology

¹Youhei IWASAKI, ²Kenji SAKAI

The body fairing has been designed and fabricated for the Daiichi Institute of Technology's man powered airplane. The body fairing for the man powered airplane is useful to keep safety for the pilot and to reduce the airplane drag. And also it must be considered to keep the inside temperature low, because the contest will be held at summer season.

By using this body fairing, the Daiichi Institute of Technology's man powered airplane fligted at the distance of 208m at the Biwako man powered airplane contest at July 31, 2011.

Key Words: Man Powered Airplane, Body Fairing, Design and Fabrication

1. はじめに

航空設計研究部は5年前に再開してから、毎年琵琶湖で開催される鳥人間コンテストを目指してきたが、昨年度、久々に出場できる機会を得た。これまで、胴体フェアリングの設計・製作は試験飛行にはなくても特段困らなかったため、後回しにされていた。

しかし、出場に際しては、パイロットの安全性の観点や空気抵抗低減の観点から製作は必要と判断された。

昨年度の部員には、胴体フェアリングの製作の経験がなかったため。先行している崇城大学の人力飛行機の製作過程の見学を参考にしながら、短時間で製作できる方法を開発し、半年はかかる言われたフェアリングを2ヶ月程度で製作することができた。その概要を報告する。

2. フェアリングに求められる条件

2.1 空力性能

飛行機である以上、空気抵抗は最低限に抑える必要がある。プロペラを脚力で回す人力飛行機なら尚更である。今回のつばめでは、必要プロペラ推力か

ら胴体の抗力係数値は 0.2 以下に抑えるべきとのデータがあるため、この数値を目標値とする。

2.2 軽量性

重力に逆らい飛行するため軽さは絶対条件である。しかし軽さを求めるあまり、他の要件を満たせないようでは、そのフェアリングは無いほうがマシと言える。航空機設計研究部ではこれまでフェアリングを製作してこなかった。他チームのデータからフェアリング重量は1~2kgが妥当とし、この数値を目標とする。

2.3 居住性

ここで言う居住性とは、パイロットの動きを妨げない事、パイロットのコンディション低下させない事の2点を指す。

飛行中のパイロットは常にペダリングと操舵、目視の動作を行う。これらの動作をフェアリングが妨げる事があってはならない。そのためフェアリングには十分な大きさが必要となるが、前面投影面積が大きなフェアリングは空気抵抗を増大させてしまう。そのため上述の動作を妨げずに且つ必要最低限の前面投影

面積とすることを目標とする。

温室効果やパイロット自身の激しい運動で上昇する内部温度は、パイロットのコンディションを著しく低下させる。そのためフェアリングには空気のインテークとアウトレットを設けるが、冷却効果を高めるべくそれらを大きくすると抗力を生んでしまう。更に、最適な位置に配置しなければ冷却効果を得られない。この点に関しては具体的な数値や結果を得るにも実機サイズで膨大な試行錯誤が必要となる。

2. 4 安全性

パイロットの命を預けて飛行する以上、安全に関しては十二分に留意しなければならない。フェアリングに関して言えば、非常時の脱出を妨げない事と万が一の怪我防止が挙げられる。脱出に関しては弱い力で破碎できる脱出口を作成することを目標とする。怪我防止に関してはパイロット前面や顔近傍にはバルサ材など先鋭形状にならないものを使用し、また金属を用いる場合は面取りと防護カバーを施すことで対処する。着水時に破碎した際、救助ダイバーの安全と琵琶湖の環境を鑑みて破片飛散を防止する必要もある。

3. フェアリングの設計

3. 1 各数値の決定

3. 1. 1 胴体フレーム

フレームを構成する CFRP パイプの配置、直径などの構造は担当者により既に設計されているので、これに合わせる。



図 3.1 胴体フレーム側面図

3. 1. 2 クランク周辺

クラंक軸を中心としてペダルとパイロットのつま先や膝が回転するが、回転運動を妨げない大きさが必要となる。クラंक周りの必要スペースは、パイロットに搭乗させて計測し実寸を採る。実寸ぎりぎりではなく回転直径に 200mm、幅に左右各 200mm の余裕を持たせる数値とする。

3. 1. 3 操縦桿周辺

操縦桿はパイロットの腰下に配置されている。尾翼動作時に操縦桿の上下・左右運動が必要となるため、

この可動範囲を確保しなければならない。フェアリングのなかでも最も幅を要する箇所である。これもパイロット搭乗による実寸を計測する。

3. 1. 4 パイロット頭部周辺

パイロットは頭部を守るためにヘルメットを着用し、また視界確保のため首振り運動を行う。よって頭部周辺もある程度の余裕がなくてはならない。ただし、フェアリング上辺と胴体フレームとのクリアランスが少ないため余裕を 150mm とし、クリアランスは 186mm とする。

3. 1. 5 パイロット肩部・腰部・上腕部周辺

頭部周辺と操縦桿周辺との間に距離があり、その間に肩や肘の幅を要する部分を納めるスペースが必要となる。これもパイロット搭乗による実寸を計測する。

3. 2 各数値の計測

フェアリングは 3 次元部品のため計測も 3 次元での計測を行わなくてはならない。そのため、ある 1 点を基準点とし 3 軸での数値を計測する。今回は胴体フレーム先端中心部を基準点の座標($x=0, y=0, z=0$)とした。

計測箇所	x	y	z
頭	2010	-510	0
目	2030	-610	40
肩	2100	-800	225
腰	1830	-1090	160
膝	1500	-810	150
踵	1050	-1250	150
クラंक	1000	-975	×
水平 0° 拳	1850	-1130	320
水平 0° 肘	2200	-1100	300
水平 0° 操縦桿	2200	-1250	300
水平+10° 拳	1940	-1010	340
水平+10° 肘	2250	-1070	320
水平-10° 拳	1800	-1250	340
水平-10° 肘	2120	-1100	275
垂直 10° 拳	1900	-1160	380
垂直 10° 肘	2230	-1070	200
垂直 10° 操縦桿(前)	2160	-1250	300
垂直 10° 操縦桿(後)	2300	-1250	300

表 3.1 実寸計測値

3. 3. 3 インテーク

インテークについてはフェアリング最先端部に設ける。圧力分布の解析シミュレーションソフトがないため、インテークをどこに設ければ良いのかデータが全くない。上述の崇城大学のフェアリングを参考にした。

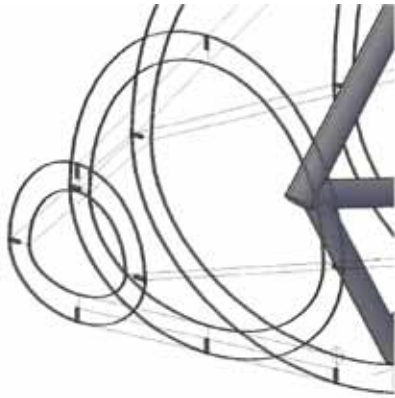


図 3.7 インテーク

3. 3. 4 アウトレット

アウトレットについてはフェアリング最終端部に設ける。圧力分布の解析シミュレーションソフトがないため、インテークをどこに設ければ良いのかデータが全くない。上述の崇城大学のフェアリングを参考にした。

全体形状は終端部が窄まる形状ではなく、開放した形状とし、これをアウトレットとした。



図 3.8 アウトレット

4. 「つばめ」フェアリングの製作

4. 1 先頭部分

材料はエスレンウッドパネルとバルサ材を用いる。ウッドパネルを輪状とそれを繋げる骨組状に切り出し、

組み合わせる。現物合わせではなく、各部品にあらかじめ切り欠けを作っておく。図 4.1 における一番小さい輪状パーツの穴はそのままインレットとなる。



図 4.1 先頭部分のエスレン骨組

ウッドパネルだけでは強度を保てないので、バルサ材による補強を行う。



図 4.2 先頭部分組み上げ後

またバルサ材は折れると先鋭部が生じ、パイロットを傷つける恐れがある。そのためバルサ材を生で使用するは大変危険があるので、パイロットの安全・飛散防止のためバルサ材には PP テープを巻いておく。骨組が完成した後、外皮を貼る。

4. 2 舟艇部分

フェアリング本体の下半分を舟艇部分と便宜上呼ぶ。この舟艇部分は発泡スチロールにより製作する。CNC フライスを使用出来ない大きい部品となるので、人力による削りだしを行う。削りだしは大型の発泡ブロック 1 個からの削りだしではなく、発泡スチロール板から同じ形状を切りだして貼り合わせる工法を採用した。

4. 3 パイロット格納部の骨組

パイロット格納部の骨組もエスレンウッドパネルで製作する。これも部品に切り欠けを作り、各々を組み合わせる。



図 4.3 パイロット格納部の骨組

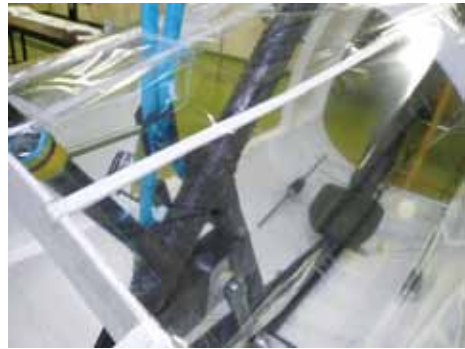


図 4.6 PP フィルム製外



図 4.7 射光フィルム製外皮



図 4.4 フェアリングの骨格完成後

4. 4 外皮

骨格が出来上がったら、外皮を貼りつける。外皮は 3 種類の材料を使用する。強度が必要な部分はエスレンシートを選んだ。また強度が必要でない部分、またパイロットの視線部分は PP フィルムを選んだ。そして日差しを遮る必要がある部分は遮光フィルムを選んだ。遮光フィルムについては業者が取り扱うようなものではなく、DIY 量販店で取り扱っている家庭窓用の市販遮光フィルムである。

4. 5 完成



図 4.8 フェアリング完成図(左翼から)



図 4.5 エスレンシート製外皮



図 4.9 フェアリング完成図(右翼から)

5「つばめ」フェアリングの評価

5.1 重量

フェアリングの全重量は 2.5kg であった。当初の目標であった 1~2kg を超えてしまった。これは発砲スチロール製の舟艇が重量の大半を占めている。厚さを 50mm で設計し製作したが、これは手による削り出しで部品の製作をした為である。CNC フライスで完全に機械式にすれば厚さを更に薄く出来て、計量化が図れると考えられる。また初めて製作であり薄くすると強度的に不安ということもあった。

5.2 居住性

飛行後にパイロットからの聞き取りを行った。パイロット内部は風の流入が激しく、居住性は快適であったとのことだ。しかし風の流入が多かったということで、流入量を減らしても良いかもしれない。インテークを小さくするか、設ける場所を先頭部から変更するか改良の余地が生まれた。

5.3 安全性

機体が着水後、機体は沈まずに湖面に浮いたままであった。これは舟艇を発砲スチロールで製作したため浮力が生まれ飛行艇のような構造になったと考えられる。パイロットが溺死する危険性を排除できたということで安全性については良好であった。また部品の飛散も確認出来なかった。しかしこれは機体が後部の着陸脚からゆっくり湖面に着水したからだと考えられる。湖面に機首から飛び込んだ場合は違った結果が出るかもしれない。

5.4 空力特性

機体にデータロガー等を搭載していないため、実際の飛行時の動画から飛行速度等を計算した。その結果、平均飛行速度は 4.6m/s である。この結果は、設計速度 7m/s より低い値である。この原因として、「プロペラの推力不足」「翼後縁の振れ」「パイロットの出力不足」も考えられるが、胴体フェアリング抵抗係数が、設計値 0.2 より大きくなっていることも考えられる。今後の改良としては、操舵方式を現状の横に振る方式から縦に振る方式の採用によって改良して、フェアリング幅を狭くすることが考えられる。正面面積の削減が次世代機へ反映する改善点であると考えられる。



図 5.1 水平定常飛行中の機体



図 5.2 着水後も沈まない機体

6. おわりに

今回の卒業研究を通して、人力飛行機製作において今まで手付かずであった胴体フェアリングの設計・制作方法のたたき台を作ることができた。本研究を元に、後輩たちが更に人力飛行機の活動を盛り上げてくれれば幸いである。

また、計画、実行、評価、改善という「ものづくり」のサイクルを経験できたことは、エンジニアとして働く上で、非常に有意義であった。

7. 参考文献

- ・井門義明 '人力飛行機の胴体フェアリングの空力設計' 平成21年度 卒業研究

単発機エルロンの製作及び修理

田代 健航¹・田頭 千波¹・田之上 駿史¹・中村 俊一郎²

¹ 第一工業大学 学部学生 航空宇宙工学科

² 第一工業大学 客員教授 航空工学科
(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2)
E-mail: s-nakamura@daiichi-koudai.ac.jp

Manufacture and Repair the Aileron of Single Engine Propeller Driven Airplane

Kenko Tashiro¹, Chinami Tagashira¹, Takafumi Tanoue¹, Shunichiro Nakamura²

¹ Undergraduate, ² Guest Professor,

Dept. of Aeronautics Eng., Daiichi Univ. Institute of Technology
(Kokubu-Chuo 1-10-2, Kirishima-shi, Kagoshima-ken 899-4395, Japan)
E-mail: s-nakamura@daiichi-koudai.ac.jp

More than ten years ago, the single engine propeller driven airplane in the hangar of Daiichi-Koudai was hit by a big stone in the heavy rain and the LH aileron was damaged. The skin of it was smashed and the spar web was broken off. So, they are expected to be repaired.

In this paper, the repair processes of them are shown. The repairs are successfully completed.

Key Words: single engine propeller driven airplane, LH aileron, repair processes

1. はじめに

第一工業大学保有の軽飛行機 Cherokee のエルロンが一部破損してしまった。エルロンは航空機をバンクさせるために必要な動翼である。このエルロンは桁、外板およびリブから出来ており、外板の後縁がつぶれ、桁ウェブが欠け落ちている。本報告は、これらの部品の破損部分を切り取り、新たに製作した部品と結合し、エルロン組立として修理する方法で示す。なお、製作する桁はもともとのアルミニウム合金ではなく、軽量化を図れる繊維強化プラスチック（複合材料）を使用する。外板は面外の剛性を持たすため、プレス加工によりビードを付ける。また上下面一体となったもともとの外板と同じにするにはビード加工後の曲げが難しいため、上面と下面を別々の板で製作し、後縁をファスナで接合する構造とする。桁

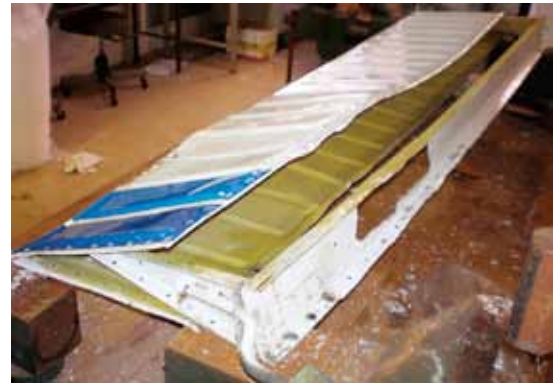
の製作に必要な木型およびビード加工に必要な金型は鹿児島県工業技術センターのマシニングセンターで製作し、それぞれの部品を試作して型の不具合を修正後、修理用の部品を製作する。製作した部品は切り取られた部分と結合し、塗装や作動時のエルロンと後縁の干渉を避けるための修正を行い、エルロン組立として完成する。さらに、本製作工程で発生した問題点および解決方法についても示す。

2. 破損したエルロン

本学が所有している単発の軽飛行機 Piper PA-28-150 Cherokee の破損した左エルロンを図 1 に示す。(a) は機体から取り外した状態、(b) は部品毎に分解した状態を示す。同図に示すように外板の後縁がつぶれ、桁のウェブが欠け落ちているのがわかる。



(a) 機体から取り外した状態



(b) 部品毎に分解した状態

図1 破損したエルロン

3. 桁の修理

桁は板厚0.5mmのアルミニウム合金製であったが、修理は複合材料製の桁で行うこととした。まず桁の形状を加工するための木型を製作し、これにそわせてエポキシ樹脂をしみ込ませたクロス材を積層して硬化させ[1]、複合材料製の桁に仕上げた。この桁と破損部分を切り取った残りのアルミニウム桁とを結合しエルロン桁とした。

3.1 製作手順

- ① 木型の製作は工業技術センターの設備で行うこととした。まずNCマシンに入力する3DCADソフト(ユニグラフィックス)を使用して形状のデータを作り、これをNCマシンに輸入して木材から木型を切削加工した。図2に(a)3DCADで描いた木型および切削加工を示す。
- ② ①で製作した木型に離型処理を行い、エポキシ樹脂(ブレニー技研 GM-6800)を含浸させたガラ

ス繊維クロス材1層(GF平織物[0°])および炭素繊維クロス材3層(CF平織物[0°/45°/0°])を順に積層する。外弦側の端部にはマスバランスを取り付けられるよう、さらに補強用のCF平織物[0°/45°/0°]を3層積層する。GFはアルミニウム合金製の外板とCFとが直接接触することにより生ずる電界腐蝕を防止するためのものである。

- ③ 積層した②の上にピールプライ1枚、ブリーザークロス1枚をかぶせ、周りを麻縄で巻き、布団圧縮袋に入れて真空引きをして木型に密着させる。これをヒーティングブランケットで巻き、加熱硬化させて成型した。
- ④ 硬化した成型品は余分なところをダイヤモンドカッターで切り落とし、複合材料桁として完成させた。
- ⑤ 複合材料桁と破損した部分を切り取ったアルミニウム桁とを結合し、エルロン桁として完成させた。

図3にエルロン桁の製作工程を示す。



(a) 3DCAD



(b) 木型の切削加工

図2 木型の加工



(a) 硬化作業



(b) 木型の形状に硬化した桁



(c) 完成した複合材料桁



(d) 完成したエルロン桁

図3 エルロン桁の製作工程

3.2 桁の製作で発生した問題点

今回行った加工方法はハンドレイアップ法といい、大きな設備を必要とせず、複雑な製品の成形が可能な方法である。しかし、人手に頼るため品質が作業者の熟練度に左右されるという問題がある。

例えば不要なエポキシ樹脂を完全に取り除くことができず、桁の厚さにばらつきができるという問題が生じた。これを解決するために、エポキシ樹脂をローラで極力型の外にかき出した。また、完成時の強度や剛性を想定していなかったのも問題であった。試作品は剛性不足であることがわかり、CFの積層数を増やして剛性を上げる必要があった。既存のアルミニウム桁と複合材料桁との結合箇所の剛性不足もあった。これは結合箇所にアルミニウム板を当てることで解決した。

4. 外板の製作・組み立て

破損した外板は図1に示すようにビードをつけることにより面外の剛性を持たせている。そこでビード加工を行うための金型を製作し、この金型を使ってアルミニウム板にビード加工を行う。加工した板は破損部を切り取った残りの外板と結合し、エルロン外板として完成させる。

4.1 製作手順

① ビード加工用プレス金型組立の設計は前年の卒業研究を引き継いだ [2]。金型組立は4個のS45C鉄板および2個のSS400鉄板を機械加工した部品から構成される。機械加工は工業技術センターの設備を使用して行った。図4に(a) 3DCADで描いた金型の1例、(b) 孔開け加工および(c) 金型組立を示す。

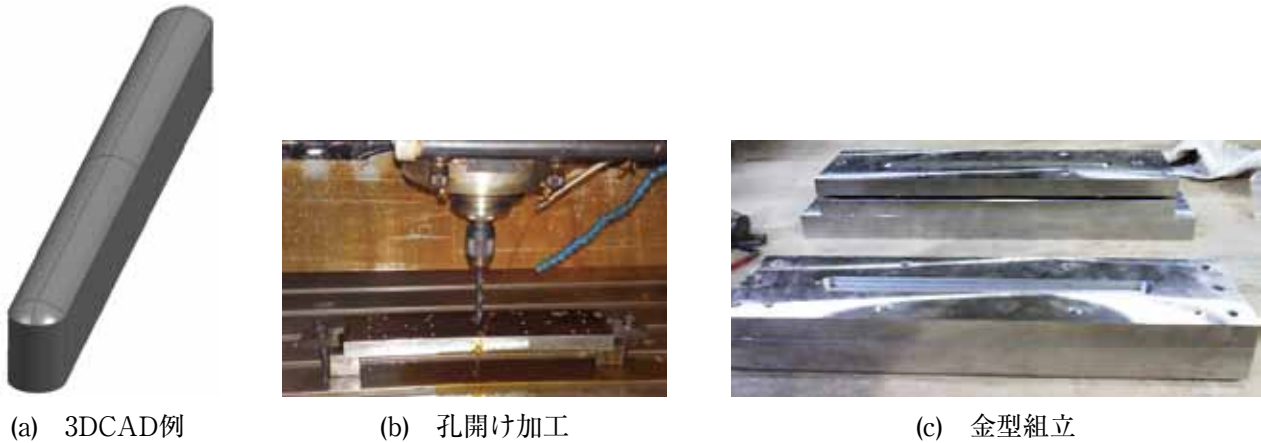


図4 ビード加工用プレス金型

- ② アルミニウム板 (A5052-O、板厚 0.5mm) を修理する外板に必要な寸法に 2 枚切断する。寸法は破損部を切り取った外板の大きさ、プレス加工による板の伸び、および組み立てるための結合部を考えて決めた。
- ③ プレス金型を引張圧縮試験機の圧縮側にセットし、ビード加工した。ビードは 1 枚当たり 9 個を 90mm 間隔で付けた。圧縮荷重は 30N 程度である。図 5 にビード加工を示す。
- ④ 加工した 2 枚の板は余分な部分をカットし、後縁に相当する部位をブラインドリベットで結合して修理用外板組立を製作した。内面はアクリルシリコンで塗装した。
- ⑤ 破損部を切り取った外板と修理用外板組立との結合面の内側にアルミニウム帯板を当て、ブラインドリベットで結合して、エルロン外板を完成した。

4.2 プレス加工で発生した問題点

プレス加工によりアルミニウム板が割れる、傷ができる、ビード端周辺のフランジ部分にしわができる、全体が反るなどの問題が発生した。

まず、割れや傷への対策として、加工速度を遅くしプレス圧力を弱くすること、および金型の凸部及び凹部の縁 R に丸みを持たせるようにヤスリがけを行った。これらは加工速度が速すぎたことで、絞り始める時に衝撃的に力が加わり、絞りきれないまま切れてしまうことを防止することになると考えている。また、加工する板が当たる縁 R を大きめにするにより局所的な伸びを小さく抑えられると考えている。

次に、フランジのしわ対策について説明する [3]。このしわは、しわ押え力の不足や押え位置が縁 R から離れ過ぎたフランジで押さえる場合に発生する。しわ押え力を増大し、フランジ寸法を大きくする対策として、製作した金型およびアルミニウム板の切り出し時の大きさの見直しを行った。具体的には、加工する板を押える役割に使っていたばねを強化し、さらに金型のしわ押さえに滑り止めを付けることにより、しわ押さえ力を強化した。またビードの始まる位置を板の縁から離



(a) プレス加工



(b) ビードをつけた板

図5 ビード加工

すことで、ビード周りの伸びが均等になるようにした。

最後に、一番の問題であった反りの説明をする。製作した金型はビードを一つのみ加工するものであり、90mmずつずらして何度もプレス加工をしなければならぬ。繰り返し加工を行うことで板全体に大きな反りが生じた。その原因は、板の伸びがビードの端と中間で異なり、結果として板全体が変形することである。対策として縁Rを小さくすることやしわ押え圧力を変えることなどを行ったが不十分であった。この対策として、ストレッチ加工と熱処理を併用することが考えられるが、今回はそこまでは実施しなかった。従って、完全に反りを消すことはできなかった。

5. エルロン組立

3項で製作したエルロン桁および4項で製作したエルロン外板を組み立ててエルロン組立を完成させ

る。

- ① 図6(a)に示す、修理したエルロン桁、エルロン外板およびマスバランスの付いたリブを組み立てる。組立作業は図6(b)に示すように、ブラインドリベットでそれぞれの部品を結合して行い、エルロン組立に仕上げた。
- ② エルロン組立を単発機 Cherokee に仮付けして作動させ、作動時に後縁と干渉しそうなところは削るなどの修正をした。
- ③ 板のつなぎ目や部品間の隙間にシーラントを詰めて整形し、図6(c)に示すように外表面を塗装してエルロン組立として完成した。
- ④ 完成したエルロン組立を単発機 Cherokee に取り付け、支障なく作動することを確認して修理作業をすべて終了した。図6(d)に取り付けられたエルロン組立を示す。



(a) 修理した外板および桁



(b) 外板および桁の組立作業



(c) 外表面の塗装作業



(d) 取り付けられたエルロン組立

図6 エルロンの修理

5. 考察

破損したエルロンを修理するにあたり幾つかの課題が生じた。桁の製作では、予備実験では GF 2 枚の間に CF 1 枚を挟む積層とし、CF とアルミニウム板との電界腐蝕防止を主眼にした積層構成を考えた。しかし、桁単体のねじり剛性が感覚的に小さく、組立作業がうまくできない事が懸念された。この問題は CF を 3 層にして板厚を 2 倍にすることにより、捩れ剛性はその 3 乗となることから解決した。

次に、桁フランジを成型する木型のフランジ部分の幅を製品として必要な幅と同じにしたことにより、フランジ面を平面に成型できないという問題が生じた。この問題は木型のフランジ幅を製品として必要なフランジ幅の 2 倍程度にすることにより、成型時に生じた平面でない部分を切除することにより解決した。また、既存のアルミニウム桁と複合材料桁との接続部分は、両者の桁ウェブを重ね合わせて繋ぐ構造としたため、桁単体では形状を保つのが難しくなった。ウェブをさらにアルミニウム板で補強することにより剛性を持たせた。継手の構想は幾つか考えられるので、幾つかの案を事前に検討すべきだった。継手をなくすには桁全体を複合材料で製作すればよいが、2 m 近くある桁を一体成型するには木型が大きくなり、積層して布団圧縮袋に入れて真空引きし、これをヒーティングブランケットで巻いて加熱硬化させるには大がかりとなることから、今回は実施しなかった。桁の強度を考えた積層構成についての検討も行っていない。

外板の製作では、ビードを付けるため何度もプレス加工する必要がある、しわ、そり、割れ、傷などの問題が生じた。しわの対策にはしわ押さえの力を増す、金型の縁 R を大きくするなどの対策で解決した。しかし、加工した板全体の反りをなくすことはできなかった。曲げ加工を行うと、加工位置で残留応力が異なり、この応力差の影響でアルミニウム板が変形するのが反りの原因である。はじめに板全体に引張力を加えておき、その状態でビード加工を行えば板の残留応力を減らすことはできる。しかし、大がかりな設備が必要となり実施しなかった。割れや傷による問題解決には加工油の利用も重要である。今回の作業では割れは縁 R の調整等で解決できたが、圧力のかけ方で傷がつくこともあった。さらに品質の高いものを作るには加工油を使うことも必要となる。

6. あとがき

今回の卒業研究は、昨年度に引き続き、エルロンの修理を完成することである。エルロン外板のビード加工をするための金型設計では八幡金属（株）国分工場の河木公治様に御指導いただき感謝いたします。ビード加工用金型の製作および複合材料エルロン桁加工用木型の製作では鹿児島県工業技術センターの南晃様に御指導いただき感謝いたします。

今回の卒業研究を通して、工場で実際に製品を作る作業を学べたことは貴重な体験となった。また次々と生じる問題に智慧を絞ったり書物で調べたりして対策を考えたことは社会に出ても役に立つと思っている。

参考文献

- [1] 岩崎洋平、中村俊一郎：人力飛行機用繊維強化プラスチック製プロペラの成型：第一工業大学研究報告 第22号 (2010) pp.41-46
- [2] 柳 定光、太田良平、奥山洋造、楠健太郎、砂辺幸彦：エルロンの修理：卒業研究論文 (2010)
- [3] (株)ミスミホームページ：プレス金型講座：
<http://koza.misumi.jp/>

人力飛行機用炭素繊維強化プラスチックの強度

岡 部 徳 之¹ ・ 中 村 俊一郎²

¹ 第一工業大学 学部学生 航空宇宙工学科

² 第一工業大学 客員教授 航空工学科
(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2)
E-mail: s-nakamura@daiichi-koudai.ac.jp

Strength of CFRP laminates for Human-powered Airplane

Toshiyuki Okabe¹, Shunichiro Nakamura²

¹ Undergraduate, ² Guest Professor,
Dept. of Aeronautics Eng., Daiichi Univ. Institute of Technology
(Kokubu-Chuo 1-10-2, Kirishima-shi, Kagoshima-ken 899-4395, Japan)
E-mail: s-nakamura@daiichi-koudai.ac.jp

In the design of the human-powered airplane, the design of beams for wing spar and fuselage are important from the perspective of flight safety. Recently, pipes made with carbon fiber reinforced plastics (CFRPs) are used for the beams. Usually these beams have each CFRP laminate with different lamina-layups according to their individual strength requirement.

In this report, three types of laminates were tested to obtain their tensile and bearing strengths. As a result of this study, each laminate has different strength according to the layups.

Key Words: human-powered airplane, laminate layup, tensile and bearing strengths.

1. はじめに

近年、軽くて強い炭素繊維強化プラスチック (CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics) の重要性がますます増してきている。開発されてからまだ百年あまりの材料であり、繊維方向の組み合わせにより様々な力に対応することができる。材料により強度が異なり、また形状が同じでも積層構成により異なる強度を持つため異なった部材を設計できる。そのため強度に関する試験データはそれぞれの部材毎に取得することが望まれる。

本大学では、航空機設計研究部が製作する人力飛行機の主な構造材料として CFRP を多く採用している。しかし、飛行試験中に構造の一部が破損してしまうことがあった。事例としては、CFRP パイプ製主翼桁の曲げ破損、CFRP パイプ製ドライブシャフ

トの面圧破損がある。ドライブシャフトはパイロットがペダルを漕ぐことにより生じる軸トルクをプロペラに伝達する役目をしている。ドライブシャフトの両端は接着およびピンを併用して金属の軸と結合されている。飛行試験では CFRP パイプにあけたピン孔が図 1 に示すように面圧破損した。原因を調べたところ、接着が不十分であったこともあり、破損部分に使用されていた CFRP パイプのピン孔面圧強度が不足していることが判明した。

そこで、本研究では破損部に使用されていた CFRP パイプと同じ積層構成を持つ試験片の強度データを取得することにより精度のある設計につなげることにした。データとしては基本となる引張強度および面圧強度を取得した。さらにこれらのデータから CFRP の強度特性を考察した。



図 1：ドライブシャフトピン孔の面圧破損



図 2：試験片の概要

2. 強度試験

2.1 試験片の準備

試験片は表 1 に示すように A、B、C 3 種類を各 3 本用意する。使用するプリプレグは表 2 に示すように 90° 層が東レ材、± 45°、0° 層が三菱レイヨン材である。製造は有限会社スリーホープで行った。

表 1：試験片積層構成および厚さ

試験片	積層構成	厚さ(mm)
A	[90°/45° ₂ /-45° ₂ /0° ₄ /90°]	1.138
B	[90°/45°/-45°/0° ₄ /90°]	0.916
C	[90°/45°/-45°/0°] _s	0.916

表 2：使用プリプレグ

厚さ(mm)	積層方向	社名	炭素繊維	樹脂
0.125	90°	東レ	T-700	エポキシ #2592
0.111	±45°、0°	三菱レイヨン	HR	エポキシ #350

引張強度試験片の大きさは、長さ 200mm、幅 25mm である。面圧強度試験片の大きさは、長さ 80mm、幅 25mm である。試験機で試験片をつかむ部分は GFRP タブを接着して補強した。タブは長さ 35mm、幅 25mm、厚み 1mm であり、接着は常温硬化型エポキシ系接着剤 EP-34B で行った。引張強度試験片は両端の裏表に、面圧強度試験片は片端の裏表に接着した。図 2 に試験片の概要を示す。左側 2 列が引張強度試

験片 (TA、TB、TC 試験片と称す)、右側 1 列が面圧強度試験片 (BA、BB、BC 試験片と称す) である。それぞれの試験片に GFRP タブを取り、クリップで圧着している状態を示す。左下は硬化状態を確認するための接着剤である。

2.2 引張強度試験

(1) ひずみゲージの貼付

準備した引張強度試験片の裏表中央にひずみゲージを貼付する。

(2) 試験準備

試験機は鹿児島高等専門学校所有の(株)東京試験機 YU-2000 を使用した。試験片を試験機上下のクロスヘッド間にオフセットのないようにセットし、上部つかみ部を油圧チャックで固定し、荷重およびストロークをゼロにリセットする。続いて、下部つかみ部を油圧チャックで固定する。

(3) 試験実施

試験機により引張荷重を試験片が破断するまで負荷する。クロスヘッド速度は 1mm / 分であり、室温で実施する。負荷している間のクロスヘッド変位、負荷荷重およびひずみを計測する。荷重およびクロスヘッド速度は試験機をコントロールするコンピュータに記録する。ひずみはセンサーインターフェイス PCD-300A を介してパソコンに記録する。図 3 に破断した引張強度試験片を示す。

(4) 試験結果

負荷途中から、パキッやバリッといった音を数回発し、破裂音とともに試験片は破断した。



図3 引張強度試験片

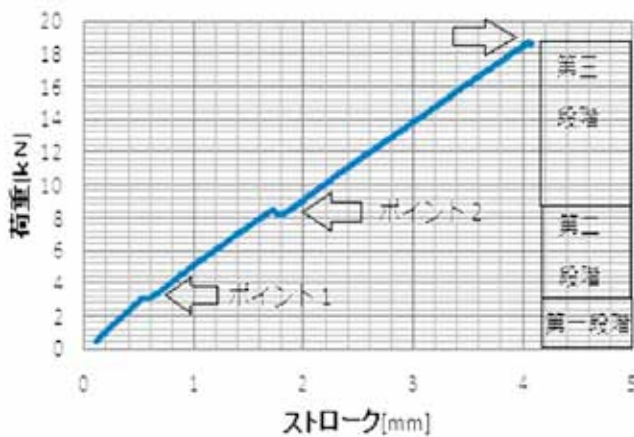


図4：荷重-ストローク線図（試験片TC-1）

図4は引張強度試験で得られた試験片 TC-1 の負荷荷重とクロスヘッド変位との関係を示す。同図により、ストローク増に従い、ほぼ線形に荷重増が見られ（第一段階）、破断荷重の約 16% で荷重が増加せずにストロークが増加する点がある（ポイント 1）。その後、ストローク増に対し第一段階より小さい傾きでほぼ線形に荷重増が続き（第二段階）、破断荷重の約 46% で再び荷重が増加せずにストロークが増加する点がある（ポイント 2）。その後、第二段階よりさらに小さい傾きでほぼ線形にストローク増に対して荷重増が続き（第三段階）、破断に至っている。試験片 TA、TB の引張強度試験結果も同様の傾向が見られた。ただし、ポイント 1 は約 10%、ポイント 2 は約 30% である。

表3に試験結果を示す。ヤング率は第二段階の傾きとして求めた。

表3：CFRP 試験片 - 引張強度試験結果

試験片No.	荷重 P	ストローク	応力 σ	ヤング率 E
	kN	mm	MPa	GPa
TA-1	30.6	5.43	1076	40
TA-2	30.3	5.38	1065	40
TA-3	30.0	5.39	1055	38
TAの平均	30.3	5.40	1065	40
TB-1	29.0	5.06	1266	52
TB-2	30.0	5.28	1310	51
TB-3	29.4	5.48	1284	50
TBの平均	29.5	5.27	1287	51
TC-1	18.7	4.07	817	45
TC-2	18.4	3.95	804	45
TC-3	17.7	4.11	773	46
TCの平均	18.3	4.04	798	45

(5) 考察

a. 公開データとの比較

CFRP は積層構成により非対称積層材、疑似等方性積層材などがある。3種類の試験片のうち、試験片 TC のみが疑似等方性積層材である。試験片 TC について推算値との強度比較を行う。

使用したプリプレグのデータがないため、 0° 層および $\pm 45^\circ$ 層に使われている三菱レイヨン HR40 12M の繊維強度を用いて、東レ T-800 と T-300 を使用した疑似等方性積層材の強度データおよび繊維強度を使い、線形補間法により TC 試験片の引張強度を推算する。

資料 [1] によると T-800 の疑似等方性積層材の

引張強度は 892MPa であり、T-300 は 451MPa である。

線形補間による推算は下式で行う。

$$P = f_0 + \frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

P を TC 試験片の推算値

x を HR40 12M の繊維強度 4410[MPa] [2]

x_0 を T-300 の繊維強度 3530[MPa] [3]

x_1 を T-800 の繊維強度 5880[MPa] [3]

f_0 を T-300 疑似等方性積層材の引張強度

f_1 を T-800 疑似等方性積層材の引張強度

$$P = 451 + \frac{892 - 451}{5880 - 3530} (4410 - 3530) \\ = 616[\text{MPa}]$$

試験結果は 798MPa であるから、推算値より 30% 高めである。この違いは繊維強度が下限値となっていることによる可能性がある。

b. 積層の違いによる引張強度

まず、各試験片の繊維方向の割合を以下に示す。

表 4：試験片毎の各層の比率

	積層比率		
積層方向	0°	±45°	90°
試験片TA	4層	4層	2層
	40%	40%	20%
試験片TB	2層	2層	2層
	50%	25%	25%
試験片TC	2層	4層	2層
	25%	50%	25%

各層の比率による引張強度 [1] を図 5 に示す。同図は疑似等方性積層材の引張強度が 290MPa の場合である。同図に試験片 A、B、C の積層比率

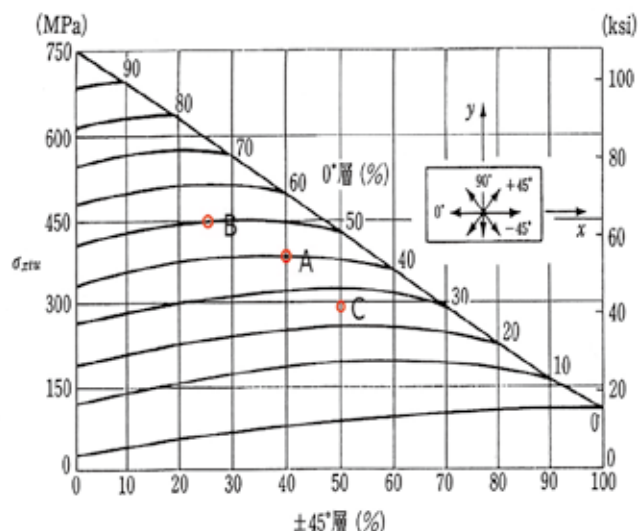


図 5：各層の比率による引張強度[1]

を当てはめてみると、引張強度の試験片毎の割合は $TA : TB : TC = 384 : 450 : 290 = 1.32 : 1.55 : 1$ となり、試験片 TB、TA、TC の順に大きいことが分かる。

表 4 に示す試験片 TA、TB、TC の平均引張強度の割合を参考文献 [1] から求めると $TA : TB : TC = 1065 : 1287 : 798 = 1.34 : 1.61 : 1$ となる。

TA : TB : TC の引張強度試験の割合は参考文献 [1] で求めた割合とほぼ一致しており、試験結果は妥当なことがわかる。

2.3 面圧強度試験

(1) 試験準備

a. ロードセル (LC) 相当のアルミニウム引張試験片の準備

面圧強度試験は手動で行うことにし、負荷荷重を計測する道具を準備する。荷重を検出し、電気信号に変換する荷重変換機を使用すれば計測可能であるが、所有する LC の最大許容荷重が 500N のため、LC に代わる荷重計を準備する。

万能試験機 (丸東製作所 MBU30T21003) を使用して、アルミニウム試験片に引張荷重を加え、貼付したひずみゲージの出力を測定する。これらのデータを整理して、図 6 に示すアルミニウム試験片の荷重－ひずみ線図を作り、これを荷重計 (LCAL) とし、本番の試験はこの LCAL を用いて荷重を測定した。

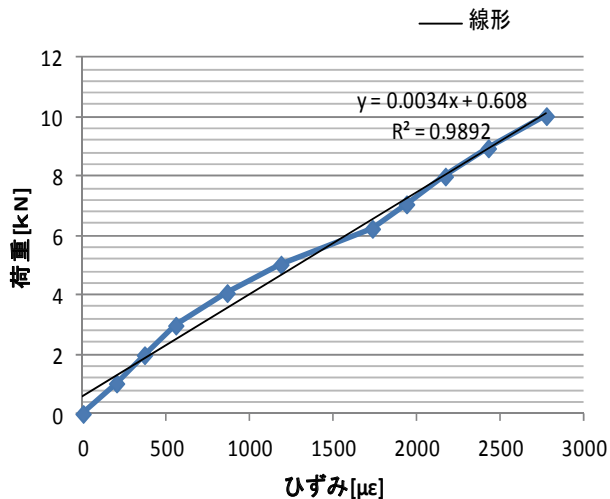


図6：LCALの荷重 - ひずみ線図

図6から読み取れるように荷重はひずみに対して下式となる。

$$y \text{ (荷重)} = 0.0034 \times x \text{ (ひずみ)} + 0.608$$

これを0点補正し下式を得る。

$$y \text{ (荷重)} = 0.0034 \times x \text{ (ひずみ)}$$

この式より、面圧強度試験時に加わる荷重が計算される。

b. 面圧強度試験片にボルトを介して荷重を負荷するための準備をする。図7に試験治具組立の全体図および試験片の取り付けを示す。

ア、試験治具として、厚み1mmのアルミニウム板から35mm×25mmの小片を9枚と、厚み3mmのアルミニウム板から100mm×25mmの小片18枚を足踏みシャーリングにより切り出し、バリ取りをして表面をアセトンで拭く。切り出した1mm厚のアルミニウム小板を3mm厚のアルミニウム小板2枚ではさみ、メタルロックで貼り合わせて面圧試験治具とする。

イ、面圧強度試験片のGFRPタブがない側の端から15mmの中央位置と、試験治具の貼り合わせのない側の端から10mmの中央位置を合わせる。両者を合わせた中央位置に直径5mmの通し孔をあける。通し孔はまず直径4.8mmのドリル孔をあけ、次に直径5mmのリーマで仕上げた。ドリルの回転数は1200rpmとした[4]。ここで面圧強度試験片にあけた孔が試験の対象となる。面圧試験治具の孔周りはバリ取りを行った。面圧強度試験片と面圧試験治具の通し孔にボルトを差し込み、ナットをフィンガータイトで締め、両者の面の摩擦で荷重

が伝達しないようにした。

ウ、LCALと面圧強度試験片、および面圧試験治具と変位負荷用ワイヤを結合するアルミニウム板を、ボルト結合して枠組みの中にセットする。変位負荷用ワイヤは固定した小型パンタグラフジャッキの可動部に取り付け荷重準備を完了する。図7に試験治具の組み立てを示す。



(a)全体図

(b)試験片の取り付け

図7：試験治具の組み立て

エ、面圧強度試験片に貼付したひずみゲージのリード線をセンサーインターフェイスPCD-300Aに接続し、これとパソコンをつなぎ、計測準備を完了する。

(2) 試験実施

面圧強度試験はジャッキの可動部を手動で下方に動かすことにより試験片に変位を加え荷重する。室温状態で破断するまで荷重し、この間の試験片およびLCALのひずみを計測する。

試験は手動で行ったため、直に荷重している手ごたえが感じられ、ジャッキを動かすのにだんだん大きな力が必要となるのがわかる。試験初期からズリズリあるいはパリパリといった試験片の割れや引き裂かれるような音が発生した。破断時には試験片自体からの音はあまりせず、いきなりジャッキに加わる力が抜け、面圧試験治具とともに破断した試験片の一部が落下した。図8に破断した試験片を示す。

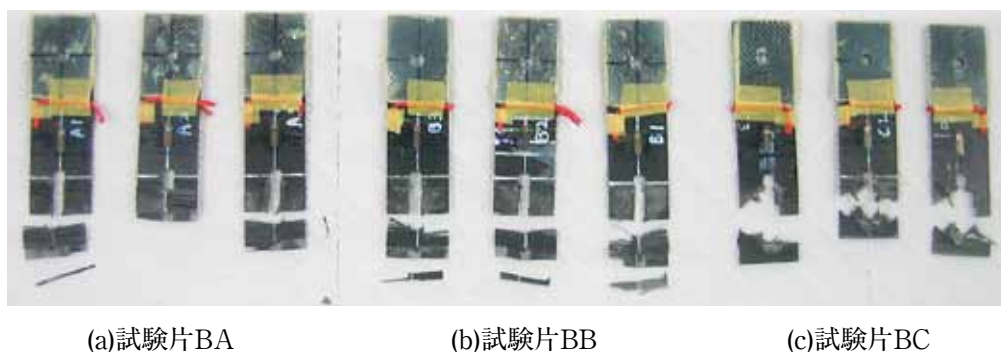


図8 破断した試験片

(3) 試験結果

図9に面圧強度試験で得られた試験片 BA-1 の負荷荷重とひずみ値との関係を示す。同図によりひずみが増加するに従い、最大荷重の48%にあたるポイント1までは、ほぼ線形に荷重－ひずみが増加する。ポイント1で同じ荷重のままひずみが増大している。その後、最大荷重の95%にあたるポイント2まで荷重－ひずみの増加が続く。ポイント2では荷重が減少すると共にひずみが大きく減少する。その後また、ほぼ線形に荷重－ひずみが増加し、最終破断に至っている。試験片 BB、BC の面圧試験結果も同様の傾向が見られた。ただし、試験片 BB のポイント1は63%、ポイント2は最終破断、試験片 BC のポイント1は約65%、ポイント2は約85%で見られた。

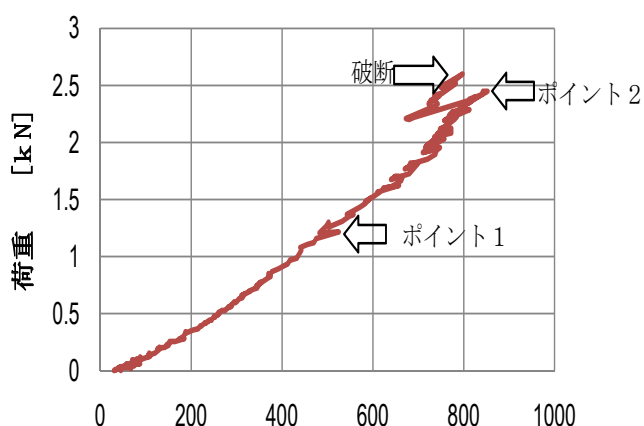


図9：面圧強度試験BA-1荷重-ひずみ

表5：CFRP 試験片 - 面圧強度試験結果

試験片No.	荷重 P	ひずみ ε	面圧応力 σ
	kN	10^{-6}	MPa
BA-1	2.60	798	455
BA-2	2.47	838	435
BA-3	2.51	556	440
BA 平均	2.53	818	445
BB-1	1.88	750	410
BB-2	1.71	718	375
BB-3	2.86	1118	625
BB 平均	2.15	862	470
BC-1	2.91	1730	635
BC-2	2.76	1418	605
BC-3	3.43	1943	750
BC 平均	3.03	1697	665

(4) 考察

表5に示す通り、試験片 BC の破断時の面圧強度が最も高い。これは試験片 BC の45°層の割合が50%と最も多く、そのため面圧強度が大きくなったと考えられる。ただし、試験片 BA も45°層が40%と多い割合にも関わらず、試験片 BC の値と差が開いたことについては、積層構成が試験片 BC は板厚方向に対し対称であるか、試験片 BA は非対称であることによる影響と考えられる。試験片 BB-3 はあとの2本の試験片より高い面圧強度を示しているが、原因を突き止めるまでに至っていない。

図9で示した試験結果は、裏表に貼付したひずみゲージから得られる計測値の平均と荷重値の図である。これをチャンネル (CH) 別に示すと図10となる。

表5に試験結果を示す。応力はボルト孔の平均面圧応力である。

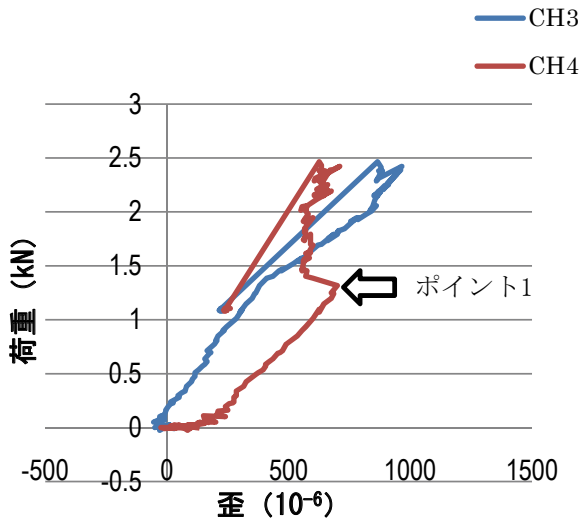


図10：BA-2のチャンネル別ひずみ

CH4が45°層に近い面、CH3が0°層に近い面である。同じ荷重に対しCH4側のひずみは大きく、ポイント1からはそれ以上ひずみの増加がなくなり荷重のみが増加する。CH3側はポイント1から荷重の増加に対しひずみの増加量が大きくなり最大荷重まで至っている。この現象の解明にはCH3側とCH4側の剛性の違いによる荷重の分担、試験片に働く曲げおよび各層ごとの破損を考慮して解析する必要がある。

この現象は、図11に示す対称積層のBC-2試験片では顕著に見られない。

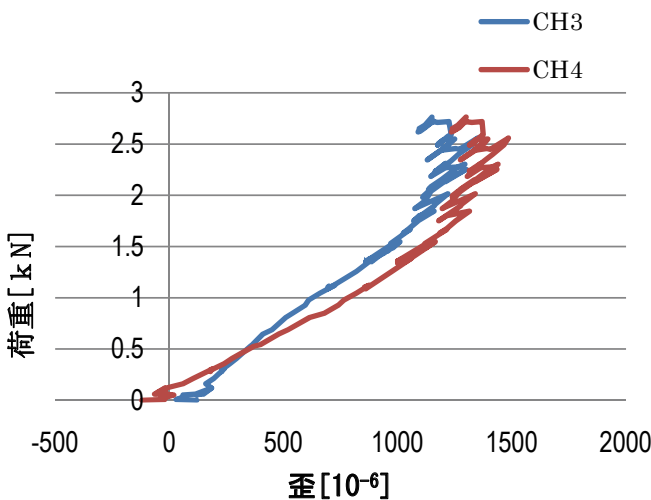


図11：BC-2のチャンネル別ひずみ

3. まとめ

積層構成の異なる3種類のCFRP試験片について引張強度試験および面圧強度試験を行ってデータを得ることができた。これらの結果は今後製作する人力飛行機の設計に活用できると考えている。

この試験は佐藤亮介の第一工業大学平成22年度卒業論文「CFRPの強度試験」を引き継いで行った。引張試験の実施においては鹿児島工業高等専門学校の下山俊一氏および油田功二氏に御指導いただき本当にありがとうございます。

参考文献

- [1] 小林繁夫、航空機構造力学、平成4年、東京、丸善
- [2] 三菱レイヨン HP www.mrc.co.jp/pyrofil/product/index.html
- [3] 東レ(株) HP www.torayca.com/download/pdf/torayca.pdf
- [4] 鈴木節男、難加工材の切削・研削・ドリル加工、1990、神戸、海文堂書店

Al 合金溶湯鍛造材AC4CH-T6 の中高温下における 疲労き裂伝ば特性

皮籠石紀雄・仮屋 孝二

第一工業大学 機械システム工学科

Growth Properties of a Fatigue Crack of Squeeze Cast Al Alloy AC4CH-T6 at Elevated Temperatures

Norio KAWAGOISHI, Kohji KARIYA

Rotating bending fatigue tests were carried out using plain specimens of a squeeze cast Al alloy AC4CH-T6 at room temperature, 150 °C and 250 °C, to investigate the effect of elevated temperature on fatigue properties, especially the growth of a small crack at high stress levels. Fatigue strength at 150 °C was nearly the same as the one at room temperature and higher than that at 250 °C, though their static strengths were decreased with increasing in the test temperatures. The alloy was hardened at 150 °C and softened at 250 °C due to aging at the fatigue process. At 250 °C, many slip bands and cracks were initiated, and these cracks coalesced each other at the fatigue process. Most of fatigue life was occupied by the growth life of a small crack within 1~2 mm at all temperatures tested. The growth rate of a small crack was determined by the small crack growth law, $da/dN=C_1\sigma_a^n$ (n, C_1 : constant). Fatigue life at each temperature was roughly predicted by the modified growth law using yield stress and Young's modulus, though the deviation of the predicted fatigue life from the experimental one was larger at 150 °C than at room temperature and 250 °C due to age-hardening.

Key Words: Fatigue, Squeeze cast Al alloy, Elevated temperature, Rotating bending, Crack initiation, Crack propagation, Aging

1 緒 言

鋳造品は製造コストの削減に有効であり、目的に応じて各種鋳造法で製造される。高圧、低速で鋳造する溶湯鍛造法^{1)~3)}は、鋳物特有の鑄巣やポロシティー等の鋳造欠陥が少なく組織が微細化できることから、本法による鋳造材は静強度や疲労特性だけでなく強度信頼性にも優れ、展伸材のそれらと遜色ないため各種機器の材料として広く使用されている。このような背景から、その鋳造材の静的な機械的性質や疲労特性に関する研究は多数行われてきた。^{4)~10)}また鋳造品は、自動車のエンジン用部品にも使用されことから中高温下での疲労特性についても把握する必要があり、これまでも多くの研究が行われている。^{11)~13)}しかし溶湯鍛造した Al 合金鋳物については、必ずしも多くはない。¹⁴⁾

そこで本研究では、溶湯鍛造法で鋳造した Al 合金鋳物 AC4CH-T6 の中高温下における疲労特性を検討するため、150°C と 250°C 下で、回転曲げ疲労試験を行った。本研究では、特に小規模降伏条件が満たされず、しかも微小き裂の伝ばが疲労寿命の多くを占める平滑材におけるき裂の伝ば特性に及ぼす中高温の影響を調べ、室温の結果との比較の基に検討した。

2 材料、試験片および実験方法

用いた材料は Al 合金鋳物 AC4CH である。化学成分 (wt. %) は、7.02Si、0.08Fe、0.37Mg、0.12Ti、Bal.

Al である。素材を、溶湯温度 700°C、鋳造圧力 930MPa の条件下で溶湯鍛造法により鋳造後、530°C、1h の溶体化処理、そして 180°C、2h の時効処理を行った。

Table 1 に、疲労試験を行った室温、150°C および 250°C での静的な機械的性質を示す。後述するように、本材料のように時効処理された材料の場合、高温での試験における機械的性質は、加熱温度だけでなく試験時間の影響も受ける。ここでは、所定の温度までの昇温速度を 10°C/min. とし、その温度に達してから約 0.5h 保持してから引張試験を行った。温度が高くなると引張強さは単調に低下し、絞りが増加する。

Fig.1 に試験片の形状と寸法を示す。試験片表面は、機械加工後 エメリーペーパーで研磨を行い、さらに電解研磨で約 20 μ m 除去し最終仕上げとした。疲労試験は、高温用の小野式回転曲げ疲労試験機 (100N・m) を用い、室温、150°C および 250°C、大気中で行った。疲労過程にお

Table 1 Mechanical properties.

Temperature	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_B (MPa)	ϕ (%)
R.T.	222	307	14.5
150°C	205	255	36.4
250°C	183	195	40.3

$\sigma_{0.2}$: 0.2% proof stress, σ_B : Tensile strength, ϕ : Reduction of area

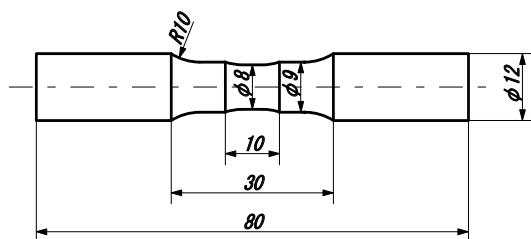


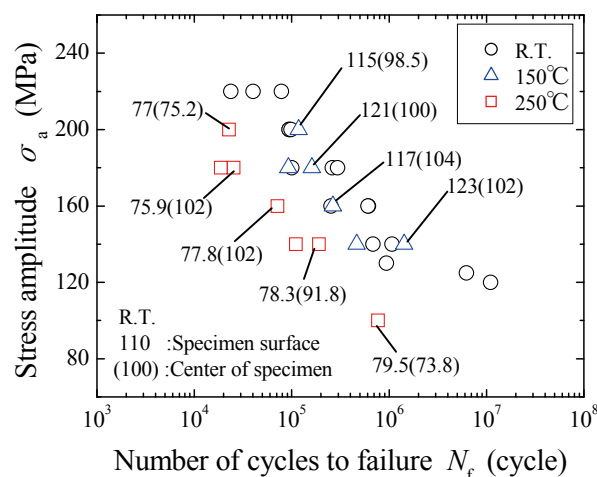
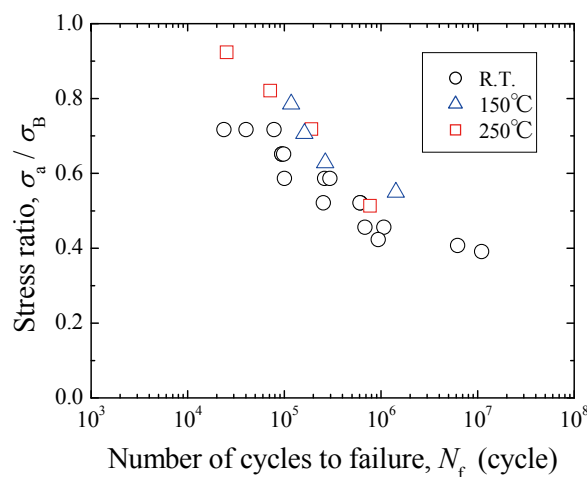
Fig. 1 Shape and dimensions of specimen.

ける試験片表面の連続観察およびき裂長さの測定はレプリカ法で行ったが、高温の場合、適当な応力繰返し毎に試験を中断し、試験片を冷却の後レプリカを採取した。試験を再開するまでの時間は、所定の温度に昇温後 0.5h とした。き裂長さ a は試験片表面に沿う円周方向長さとして定義した。また、硬さの測定はマイクロビッカース硬さ計 (荷重 0.5N) を、破面の観察は SEM を用いて行った。

3 実験結果および考察

3.1 $S-N$ 曲線

Fig.2 と Fig.3 に、各材の $S-N_f$ 曲線と負荷応力を試験温度下における引張強さで基準化した $\sigma_a/\sigma_B - N_f$ 曲線をそれぞれ示す。疲労強度は室温下と 150℃下ではほぼ等しいが、250℃下では低い。これらの結果は、従来報告されている結果と同一傾向である。¹³⁾ また、静強度差を考慮しても、150℃と 250℃間で疲労強度はほぼ等しいが室温下の場合低く、試験温度間の差異は存在する。これは主として、高温下での疲労過程で時効組織が変化することに起因しているものと考えられる。そこで、その影響を一部反映すると考えられる疲労試験後の試験片硬さを室温下で測定した。その結果を Fig.2 の $S-N_f$ 曲線中に示した。これらの数値は、破断後の試験片表面のビッカース硬さであり、括弧内の数字は繰返し応力の影響を無視でき、加熱時間の影響のみを受けた硬さ変化として、試験片断面の中央部における硬さを示している。なお、室温下の場合疲労寿命が異なっても硬さはほとんど変わらず、表面で $HV110$ 前後、内部で約 $HV100$ であった。高温での表面硬さは、150℃下では増加し、250℃下では軟化しており、その値は疲労寿命にほとんど関係なくほぼ一定である。しかし内部硬さは、高温の場合いずれの温度でも、疲労寿命すなわち加熱時間の増加に伴い、一旦硬化した後軟化する。そして 250℃下の場合、早期から軟化が始まり、しかも軟化の程度は大きい。これは通常時効曲線として認められる現象に対応している。これらの結果からわかるように、高温下での疲労の場合、加熱温度と負荷時間だけでなく、応力の影響を受け、材料の硬さは繰返し過程で変化するため詳細の評価は難しいが、全体的には 150℃下では硬化し、250℃下では軟化するのは明らかである。これは加熱により、前者は時効硬化し、後者は過時効状態になったものと理解される。¹³⁾

Fig. 2 $S-N_f$ curves (Number: Vickers hardness after fracture measured at room temperature).Fig. 3 $\sigma_a/\sigma_B - N_f$ curves.

3.2 き裂伝ば特性

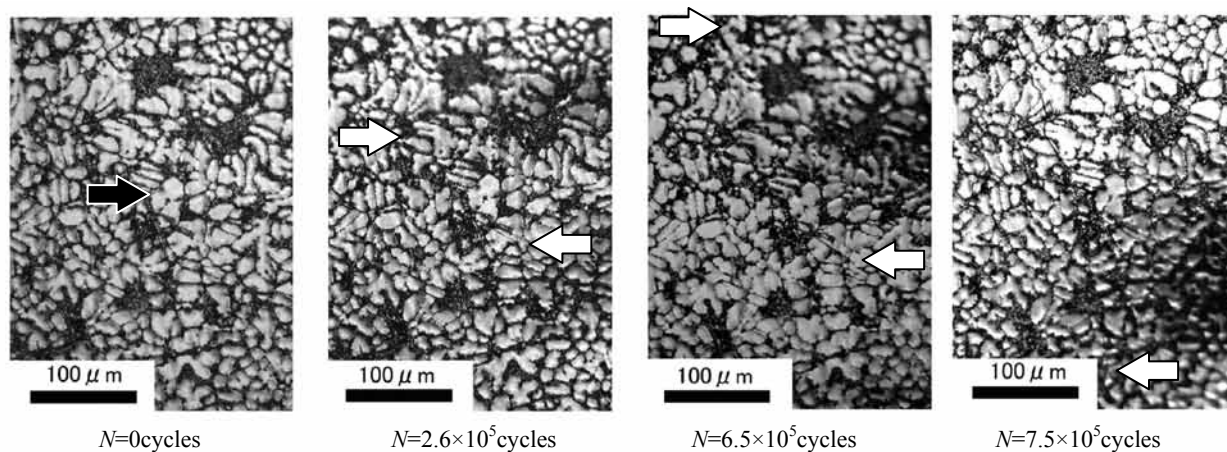
Fig.4 は、各温度下での応力繰返しに伴う試験片表面の疲労被害を示すレプリカ写真である。これまでの室温における結果と同様に、⁶⁾ 高温の場合も、き裂は共晶 Si あるいは α 相を起点に発生した。そしてき裂形態は、室温と 150℃下の場合、時効材でよく認められるような、平面状すべりを反映して直線的である。また 250℃の場合も同様な特徴を有するものの、多くのすべり帯、さらにき裂発生が観察され、それらのき裂は合体した。その結果、き裂伝ば形態はジグザグ状を呈する。さらに 250℃下の場合、室温、150℃下に比べ、共晶 Si は球状化、分散化している。以上のような試験温度によるすべりやき裂の形態と発生数の違いは時効組織の差異を反映したもので、Fig.2 に示した各温度における硬さ変化に対応している。

Fig.5 に各温度下でのき裂伝ば曲線を示す。同図には、破断寿命 N_f を基準とした図も示してある。すべての温度で、き裂発生は応力繰返しの早期であり、疲労寿命のほとんどが短いき裂 (特に 1~2mm 以下) の伝ば寿命で占め

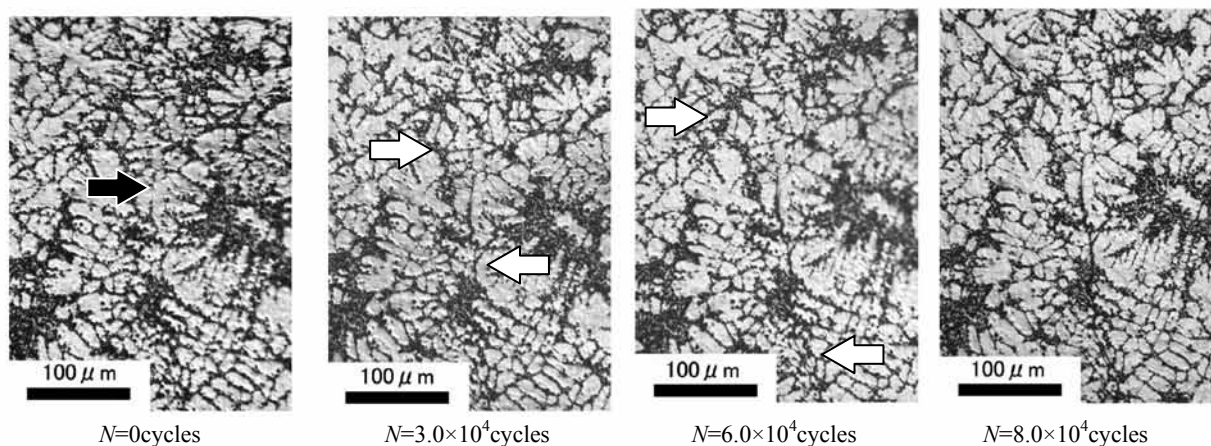
られている。特に 150℃ の場合、疲労寿命のほぼ 100% がき裂伝ば寿命である。これは前述のように、時効状態の変化に伴って材料は硬化するが、疲労初期ではその影響は小さいため、高温軟化による強度低下の影響の方が大きく、それがき裂発生を早めるに対し、き裂伝ば過程は時効の進行に伴い、時効硬化による伝ば抵

抗の増大で、き裂伝ば寿命は増加することに起因している。

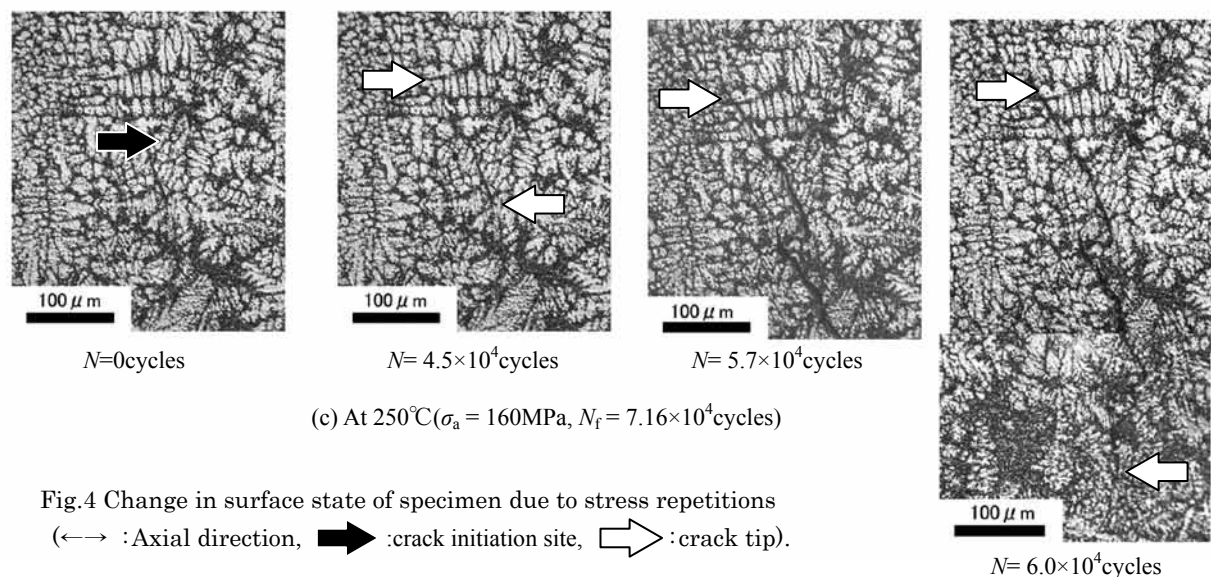
以上のことから、Fig.2 で認められた疲労強度に及ぼす温度の影響は、主として、き裂伝ばにおいて生じたものといえる。また、図からわかるように、き裂長さの対数と繰返し数の関係は直線で近似されることから、き裂



(a) At room temperature ($\sigma_a = 150\text{MPa}$, $N_f = 1.09 \times 10^6 \text{cycles}$)



(b) At 150°C ($\sigma_a = 200\text{MPa}$, $N_f = 1.18 \times 10^5 \text{cycles}$)



(c) At 250°C ($\sigma_a = 160\text{MPa}$, $N_f = 7.16 \times 10^4 \text{cycles}$)

Fig.4 Change in surface state of specimen due to stress repetitions
($\leftrightarrow$: Axial direction, $\blacktriangleright$: crack initiation site, $\triangleright$: crack tip).

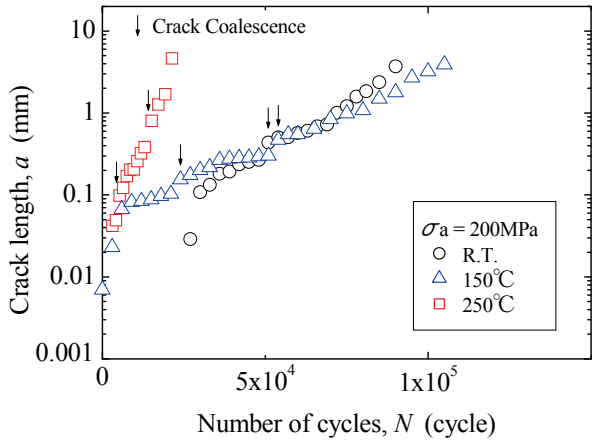
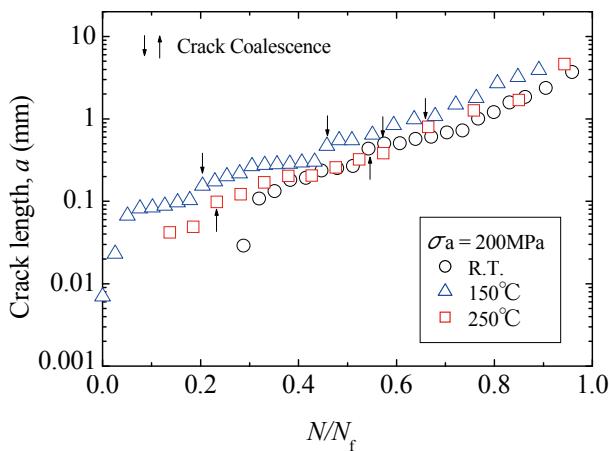
(a) $a-N$ curves(b) $a-N/N_f$ curves

Fig. 5 Crack growth curves.

伝ば速度は近似的にき裂長さに比例している。ここで対象としたき裂は、負荷応力が高く小規模降伏条件を逸脱した状態で伝ばしていると考えられるので ($\sigma_a/\sigma_{0.2} > 0.6$)¹⁵⁾、応力拡大係数による評価は適当でない。そこで以下では、このような高応力下におけるき裂伝ばの評価に有効な式 (1) に示す微小き裂伝ば則¹⁶⁾で中高温下におけるき裂伝ば速度の整理を試みる。

$$da/dN = C_1 \sigma_a^n a \quad (n, C_1: \text{定数}) \quad (1)$$

Fig. 6 は、各温度下におけるき裂伝ば速度と応力の関係を示している。き裂伝ば速度の応力依存性を示す n の値は、室温下では約 6、150°C と 250°C 下では約 4 と温度により異なる。しかしここでは、温度による n の大きさの差は小さいこと、また以下で検討するように、簡便さを重視するため、 n の値として、多くの材料における平均的な値であり、¹⁷⁾ さらに溶湯鍛造材の時効材における室温で得られたこれまでの結果^{5), 7)} も考慮して 6 をとり、以下の整理を行う。Fig. 7 に各温度下におけるき裂伝ば速度とパラメータ $\sigma_a^6 a$ の関係を示す。ばらつきはあるが、すべての温度で、き裂伝ば速度は $\sigma_a^6 a$ で一義的に決まるとしていい。そして $S-N_f$ 曲線に

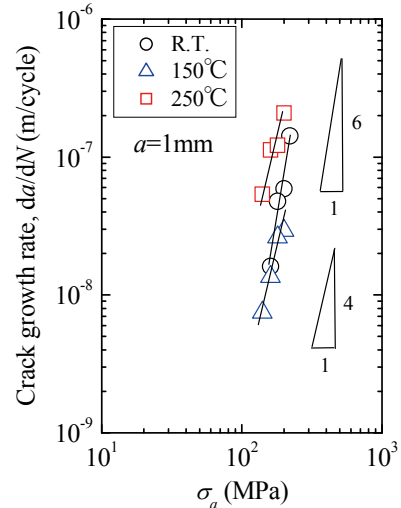
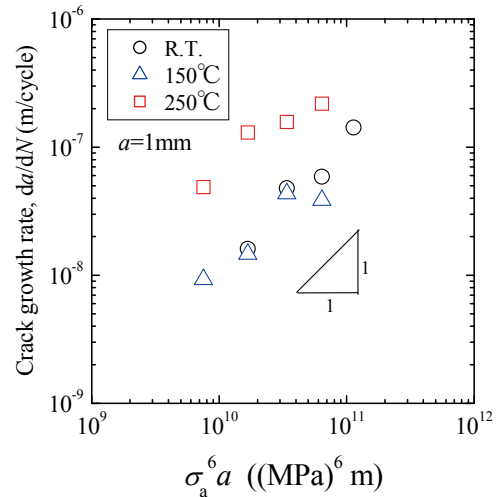


Fig. 6 Stress dependence of crack growth rate.

Fig. 7 Relation between crack growth rate and $\sigma_a^6 a$.

対応して、同一負荷条件下で比較したき裂伝ば速度は室温下と 150°C 下ではほぼ等しく 250°C 下で速い。しかしこの結果は、各温度下での強度差を含む材料特性の相違を考慮していないため、伝ば則における定数 C_1 でき裂伝ば抵抗に及ぼす温度の影響を評価するには問題がある。そこで、温度によるき裂伝ば抵抗の変化が静強度の相違を通じてどれだけ評価できるかについて検討する。このような場合に対し著者らは、疲労における材料特性としての静強度は繰返し降伏応力を用いるのが合理的であるが、それを求めるのは多少面倒であるので、鉄鋼材料において、繰返し硬化あるいは軟化に拘わらず繰返し降伏応力と相関がある引張強さ σ_B を用いて、伝ば則を修正した式 (2) で評価できることを、多くの Al 合金や鉄鋼材料で示した。^{15), 18)}

$$da/dN = C_2 (\sigma_a/\sigma_B)^n a \quad (n, C_2: \text{定数}) \quad (2)$$

ここで、式 (2) における定数の逆数 $1/C_2$ は物理的にはき裂伝ば抵抗を意味する。¹⁵⁾ しかし、Fig. 3 の結果は、高温の場合 σ_B のみによる評価は難しいことを示唆している。一方、このように温度が異なる場合のき裂伝ば速度

を比較する場合、静強度だけでなく変形特性の縦弾性係数 E の差を考慮する必要がある。^{13), 19)}

宮崎らは、式 (1) を任意の金属材料に適用するため、鉄鋼材料、Al 合金の展伸材および鋳物、そして Ti 合金のき裂伝ばに関するデータを整理することにより、静的な物性値である降伏応力 $\sigma_{0.2}$ と縦弾性係数 E を用いて式 (1) を変形した式 (3) を提案している。

$$da/dN = C_3 (\sigma_{0.2}/E) (\sigma_a/\sigma_{0.2})^n a \quad (C_3: \text{定数}) \quad (3)$$

そして式 (3) における C_3 と $\sigma_{0.2}$ に良好な相関があることを根拠に、簡便な疲労寿命予測法を示している。¹⁷⁾ そこで、今回のデータに対して、式 (3) による整理を行った。

Fig.8 は、 da/dN と $(\sigma_{0.2}/E)(\sigma_a/\sigma_{0.2})^n a$ の関係であり、Fig.9 は式 (3) における C_3 と $\sigma_{0.2}$ の関係である。Fig.9 には、宮崎らの結果 (図中、中実印) も比較として引用した。ここで高温における縦弾性係数は求めているので、植松らの値を使用した。¹³⁾ C_3 の大きさの比較からわかるように、縦弾性係数の違いを考慮してもき裂伝ば速度は試験温度により異なる。しかし今回の結果も、宮崎らのばらつきの範囲内で整理されているので、実用的観点からは、温度が異なる場合も含め本供試材料の疲労寿命を式 (3) に基づき予測できそうである。

Fig.10 は、式 (3) を積分して求めた疲労寿命の予測結果であり、比較として実測値も示してある。ここで予測寿命は、疲労寿命に占めるき裂長さ 0.1mm から 2mm までのき裂伝ば寿命の割合を Fig.5 を基に求めた。具体的には、疲労寿命に占めるき裂伝ば寿命の割合には応力依存性があるが、それは小さく平均的には、室温で約 6 割、150℃で約 9 割、250℃で約 8 割とした。図からわかるように、それぞれの温度で疲労寿命はある程度の範囲内で予測可能である。このように、式 (3) は、広範囲の材料、さらに高温下で疲労寿命を予測するのに実用上有用性は高い。しかし温度毎の予測の程度をみると、室温と 250℃での予測はかなり良好であるが、150℃の場合予測値と実測値のずれが大きい。これは、式 (3) は簡便さを考慮し、疲労過程で生じる強度変化やき裂閉口 (植松らも指摘したように、高応力下であってもき裂の屈曲が大きい場合、その影響は無視できない) 等を考慮していないこと、特に本研究のような時効材における高温疲労を適用対象としていないことに起因している。すなわち、Fig.2 と Fig.4 の結果からわかるように、150℃の場合、高温軟化が起こる一方、式 (3) には含まれない高温での疲労過程で生じる時効硬化が大きく影響しているものと考えられる。また 250℃の場合も、150℃の場合とは逆に軟化すると共に、前述のように、多数のき裂の合体が生じる。植松らは 250℃の場合、縦弾性係数の差を考慮しても、室温下に比べき裂伝ば速度は高速側になること、その理由にき裂の合体による加速をあげている。¹³⁾ 今回の結

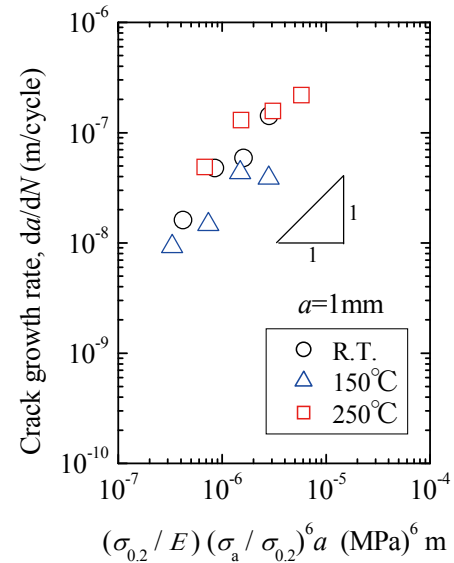


Fig. 8 Relation between crack growth rate and $(\sigma_{0.2}/E)(\sigma_a/\sigma_{0.2})^n a$.

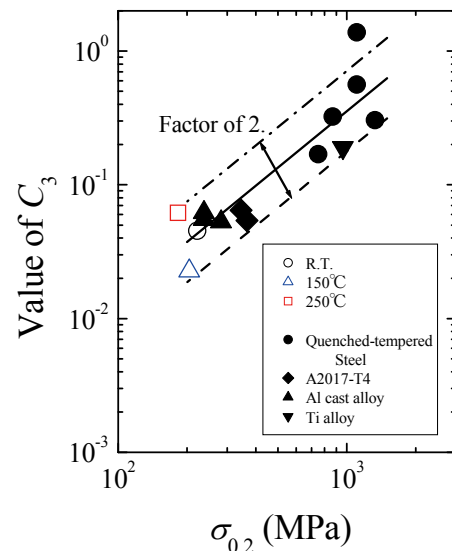


Fig. 9 Relation between C_3 and $\sigma_{0.2}$.

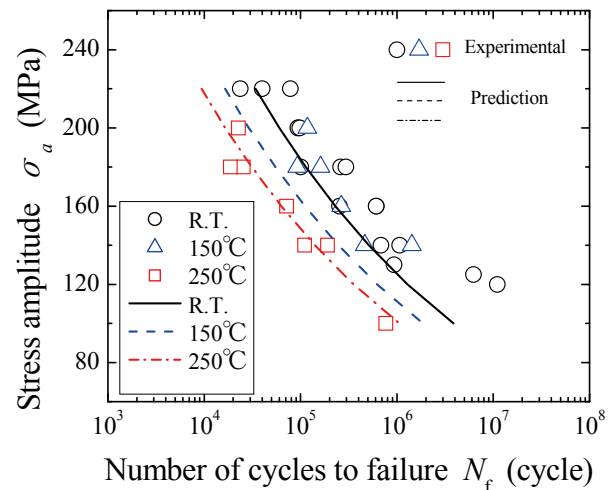


Fig. 10 Predicted fatigue life.

果でも同様なことが考えられるが、この影響とは逆に、250℃の場合、過時効によるすべりの分散が生じ、ひずみ集中の緩和がき裂伝ば速度を低下させる要因²⁰⁾、²¹⁾もあり、これらの相反する効果がそれらの影響を小さくしたものと推測される。これらのことについては、今後の検討課題である。

4 結言

溶湯鍛造した Al 合金鋳物 AC4CH-T6 の中高温疲労特性、とくに高応力下におけるき裂の伝ば特性に及ぼす中高温の影響について検討するため、150℃と 250℃下で回転曲げ疲労試験を行い、室温の結果も含め検討した。主な結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 疲労強度は、室温下と 150℃下でほぼ等しく、250℃下では低い。
- (2) 材料は高温下での疲労過程で、時効による硬化あるいは軟化が生じたが、平均的には 150℃下では硬化し、250℃下では軟化した。
- (3) 250℃の場合、室温、150℃の場合に比べ、すべりやき裂が多数発生し、それらは合体した。
- (4) すべての温度下で、疲労寿命の多くは 1~2mm 以下の微小き裂の伝ばで占められた。特に 150℃の場合、ほぼ 100%がき裂伝ば寿命であった。
- (5) すべての温度下で、き裂伝ば速度は微小き裂伝ば則 ($da/dN=C_1\sigma_a^n$, n, C_1 : 定数) で整理できた。
- (6) 各温度における疲労寿命の予測に、宮崎らによる静強度 (降伏応力) と縦弾性係数の相違を考慮して修正した微小き裂伝ば則は有用である。しかしより精度の高い予測を行うには、疲労過程で生じる時効組織の変化を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) Y. Nishida, H. Matsubara, T. Shirayanagi and S. Suzuki, "Fundamental study on the squeeze casting", Bulletin of the Japan Institute of Metals, Vol.19, No.12, pp.895-902(1980).
- 2) Y. Kaneko, H. Murakami, K. Kuroda and S. Nakazaki, "Squeeze casting of aluminum", Foundry Trade Journal, Vol.28, pp.397-411(1980).
- 3) G. Williams, "Squeeze form combines casting with forging", Foundry Trade Journal, Vol.32, pp.66-70(1984).
- 4) H. Tokisue and K. Aoki, "Mechanical properties of forge castings hypereutectic aluminum", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.25, No.6, pp.200-206(1975).
- 5) N.Kawagoishi, H.Nisitani and T.Tsuno, "Effect of heat treatments on the fatigue crack growth properties of an aluminum casting alloy (Rotating bending of squeeze cast aluminum alloy AC4CH)", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.55, No.516, pp.1733-1739(1989).
- 6) N.Kawagoishi, H.Nisitani, T.Toyohiro, N.Yamamoto and T.Tsuno, "Effect of microstructures on the crack growth behavior of small fatigue cracks in squeeze cast aluminum alloys", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.60, No.570, pp.358-363(1990).
- 7) K.Shiozawa, S.Nishino, Y.Higashida and S.Sun, "Small fatigue crack growth behavior and fatigue strength of squeeze cast aluminum alloy", AC8A-T6 and AC4C-T6, Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.60, No.51, pp.663-670(1994).
- 8) N. Kawagoishi, H. Nisitani and T. Tsuno, "Notch sensitivity of squeeze cast aluminum alloy in rotating bending fatigue", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.56, No.521, pp. 10-14 (1990).
- 9) M.Goto, S.Han, T.Yamamoto, H.Nisitani, N.Kawagoishi and T.Matsui, "Statistical characteristics on the microcrack growth behavior of a squeeze cast Al alloy", Journal of Society of Materials Science, Japan", Vol.51, No.9, pp.1023-1029(2002).
- 10) N.Kawagoishi, N.Yamamoto, H.Hirose, H.Nisitani, M.Goto and E.Kondo, "Influence of shot peening on fatigue strength of squeeze cast aluminum alloy", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.67, No.656, pp.726-731 (2001).
- 11) S. Hukai, K. Takeuchi and E. Tanaka, "On the elevated-temperature strengths of some aluminum cast alloys for piston", Journal of Society of Materials Science, Japan", Vol.13, No.126, pp.190-196(1964).
- 12) N. Hasegawa, T. Miyabe and T. Yamada, "Fatigue properties of Al-Si-Cu-Ni-Mg casting alloys at elevated temperatures", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.41, No.5, pp.311-317(1991).
- 13) Y. Uematsu, K. Tokaji and N. Hasegawa, "Effect of test temperature on fatigue behaviour in AC4CH cast aluminium alloy", Journal of Society of Materials Science, Japan", Vol.55, No.2, pp.199-204(2006).
- 14) H. Egashira, I. Hirota, T. Kobayashi and S. Sakai, "Fracture toughness and fatigue strength at room temperature and 423K in melt-forged aluminum casting alloys", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.39, No.12, pp.886-892(1989).
- 15) H. Nisitani, N. Kawagoishi and M. Goto, "Growth behavior of small fatigue cracks and relating problems", Handbook of Fatigue Crack Propagation in Metallic Structures (Edited by A. Carpinteri), pp.773-778(1994).
- 16) H. Nisitani, "Unifying treatment of fatigue crack growth laws in small, large and non-propagating cracks", Mechanics of Fatigue, ASME AMD (Edited by T. Mura), Vol.47, pp.151-166(1981).
- 17) T. Miyazaki, H. Noguchi, H. Kang and K. Ogi "Examination of fatigue characteristics of aluminum alloy from meso-scale characteristics (First report, prediction of high cycle fatigue life reliability of a metal with cracks under R=-1)", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.69, No.686, pp. 1456-1464 (2003).
- 18) N. Kawagoishi, H. Nisitani, M. Goto, Y. Oda and H. Tanaka, "Fatigue crack growth resistance of Al alloy", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.60, No.571, pp. 658-662 (1994).
- 19) N. Kawagoishi, K. Yamane, M. Goto, E. Kondo and K. Morino, "Influence of grain size on fatigue crack growth resistance of Alloy 718 at elevated temperature", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.75, No.758, pp. 1387-1394 (2009).
- 20) A. H. Rosenberger, E. Andrieu and H. Ghonem, "Influence of high temperature elastic-plastic small crack growth behavior in a nickel-base superalloy on the life prediction of structural components," Superalloys, The Minerals, Metals & Materials Society, pp. 737-746 (1992).
- 21) N. Kawagoishi, K. Kariya, S. Yoshimi, Y. Nakamura and K. Morino, "Effect of aging on crack initiation and propagation of Ni-base super Alloy 718", Journal of Society of Materials Science, Japan", Vol.58, No.12, pp.1003-1008(2009).

頸部筋電位信号を用いた発声補助装置制御システムに関する研究

大 恵 克 俊

第一工業大学 機械システム工学科

Control System for Speech Assistance Devices with Neck Myoelectric Signal

Katsutoshi Ooe

We aimed to construct an ideal speech production substitute for patients with phonation disorder and developed the artificial larynx by using piezo-ceramic sounder as a sound source. In this research, we investigated the control method using the electromyographic (EMG) signal of human neck muscle. In our previous research, we developed a control system with EMG signal of sternohyoid muscle for an artificial larynx and a speech valve. In this paper, we miniaturize the control system to the portable size by using of a one-chip microcomputer and the battery. Furthermore, the control of the speech valve with this system is reported.

Keywords: Artificial larynx, EMG signal, Speech assist device, Sternohyoid muscle

1. はじめに

現在、喉頭障害や喉頭癌等の理由により声帯を失った患者が日本国内で 30,000 人、世界では 700,000 人ほど存在すると言われており[1]、それら発声障害者のために表 1 に示す数種類の代用音声法が存在しているが、それぞれ長所や短所があり、全てにおいて満足しうる代用発声法は現在実用化されていない[2]。この代用発声法はいずれも消失した声帯の音源機能を代替するものであり、様々な手法で音源を再構築している。我々は代用発声法として最も重要な点は「容易に使えるようになること」にあるとし、修得性を最重要であると考え、諒解度、ハンズフリー、携帯性等がそれに続く課題であるとする。この点から評価を行うと、食道発声の修得率はおよそ 65%であるという報告[3]があり、修得性が高いとは言えない。T-E シャント発声はワンウェイバルブ[4]を使用することでハンズフリーを達成しているが、誤嚥の危険性や外科的手術が必要等の問題点を持つ[5]。さらにこのワンウェイバルブは開閉のタイミングの調整が可能であるが、微調整が難しく、発声時に勢いよく呼吸を出さなければ開状態から閉状態への移行に失敗することがある。また笛式人工喉頭は器具が大型であり、ハンズフリー化に適さない。そこで修得が容易で小型であり、器具を使用することでハンズフリー化が可能[6]である電気式人工喉頭に着目する。電気式人工喉頭は電氣的に制御を行うことが容易であり、ピッチ周波数の制御を行うことで、

欠点である諒解度を向上させることが可能である[7,8]。

本研究は、オンオフの制御を行うことでハンズフリー化を実現し、将来的にはピッチ周波数制御機能を付加することで高い諒解度を持つ人工喉頭の実現を目標とする。制御信号には発声時に活動する頸部筋のうち、表層近くに存在する胸骨舌骨筋の筋電位信号を利用する。さらに制御システムを小型化することで、ウェアラブルな代用発声システムの構築を目指す。また、ここで作製する小型制御システムは他の発声補助用デバイス（電気制御型スピーチバルブ、トーキングエイド等）への応用が期待される。

スピーチバルブは気管孔に留置したカニューレに装着するワンウェイバルブであり、呼吸時に閉、吸気時に開となる。これを使用することで、カニューレ装着により不可能となった発声が可能となる。しかし発声時以外の呼吸時にも閉となることや、開状態においても気流抵抗となるため呼吸困難を訴える場合がある。そこでこれを気流抵抗の少ない形状とし、さらに筋電位信号により発声時のみ閉、それ以外は開となるように制御を行うことで、呼吸が楽でかつ発声も可能なスピーチバルブが実現される。このデバイスを小型化することで、前述の小型制御ユニットと合わせ、ウェアラブルな発声補助システムを目指す。

本論文では小型オンオフ制御用システムを試作し、さらに作製した電氣的に制御可能なスピーチバルブを用い

た、試作制御システムとスピーチバルブ両者の性能評価を行う。

2. 圧電発音体を用いた人工喉頭

我々がこれまでに考案した人工喉頭を図 1 に示す[9,10]。本人工喉頭は駆動ユニットに内蔵した圧電発音体を音源としており、その音源で発声された原音をチューブによって気管孔から気管内に挿入して放射させる。これを喉頭原音の代替として、健常である声道により構音するものである。さらに頸部筋電位より得られた信号を利用して、ピッチ周波数、オンオフ等の制御を行う。

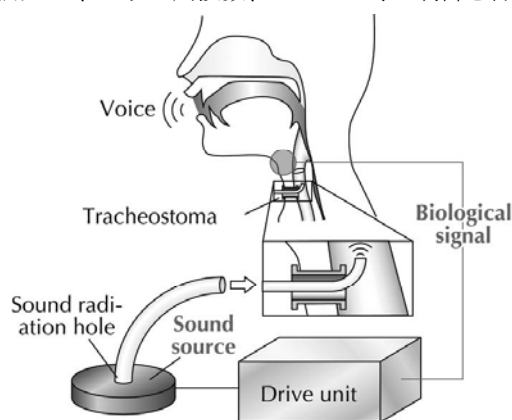


Fig. 1 Proposed artificial larynx system with PZT sounder

これらの制御信号を得る筋として、喉頭摘出手術時に温存することのできる発声筋で、かつ体表に近い表面筋電位信号の検出に適している胸骨舌骨筋 (M. sternohyoid 以下 SH) に着目した。SH を図 2 に示す。この SH は舌骨を引き下げる筋であり、発声において通常より低い声を出すときに活動するといわれている[11]。

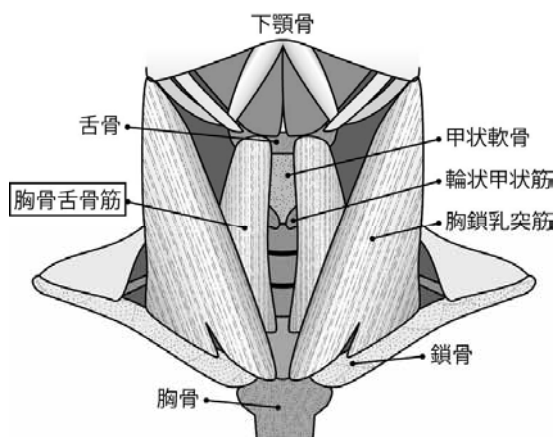


Fig. 2 Schematic diagram of neck muscle

3. 小型制御ユニットの作製

頸部筋電位信号により制御を行う人工喉頭を実用化するにあたり、ハンズフリー化は重要な課題の一つであるため、制御ユニットのウェアラブル化は必須であり、小型の制御ユニットを作製する必要がある。図 3 に小型制御ユニットを用いた操作システムの模式図を示す。

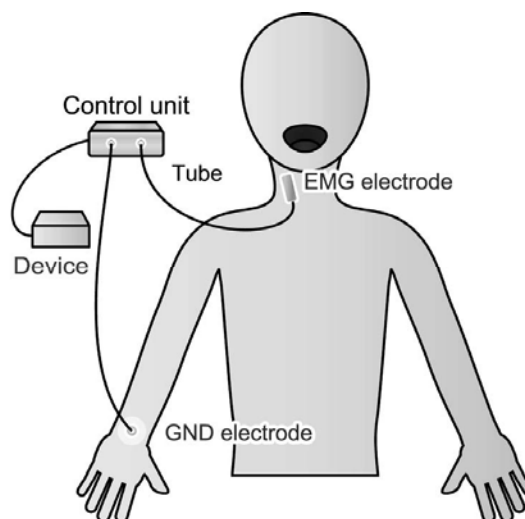


Fig. 3 Control system with micro control unit

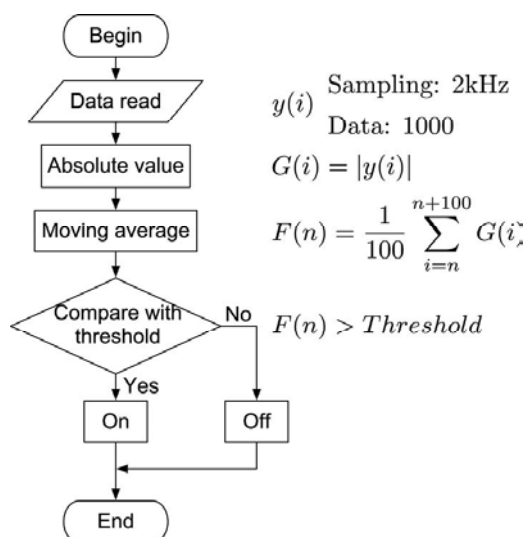


Fig. 4 Flowchart of on/off control

筋電位信号は頸部に貼付したアンプ一体型双極電極 (Biometrics Ltd.製 SX230) を用い計測し 1000 倍に増幅する。この信号に低域遮断周波数は 5Hz、高域遮断周波数は 500Hz の 2 次のデジタルバターワースフィルタにかけた。その絶対値の 0.1 秒間の移動平均を求め、予

め設定した閾値より大きくなった瞬間にデバイスをオン、閾値より小さくなった瞬間にデバイスをオフとするような制御用信号を生成する。これまでにデスクトップ PC を用いた筋電位信号によるオンオフ制御用信号の生成に成功しており[12]、その制御のフローチャートを図 4 に示す。

制御ユニットのウェアラブル化を目的として、この信号処理を基板に搭載したワンチップマイコンで行うこととし、小型の制御システムの試作を行った。図 5 に試作した小型制御システムの基板部を示す。この基板の外寸は 76mm×66mm であり 006P バッテリ×2 で駆動することが可能である。図中の白点線で囲った箇所の背面に、筋電位信号と電源とを分離するためのアイソレータ用回路が設置されており、また白丸部には動作確認用の LED が設置されている。この LED により、筋電位信号を用いたオンオフ動作試験を容易に行うことが可能である。また本システムは基板上に設けた可変抵抗により閾値の変更が行えるため、使用者に合わせた調整が容易なものとなっている。



Fig. 5 Miniaturized control circuit with one-chip microcomputer

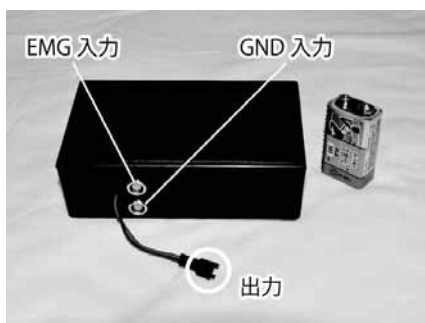


Fig. 6 Miniaturized control unit

図 6 にパッケージングされた本制御システムを示す。外寸は 125mm×75mm×40mm である。

本小型制御ユニットを用いて、測定した筋電位信号に

よる動作試験を行った。被験者の頸部に筋電位センサを貼付し、外部からの指示により発声を開始する。その指示から LED 点灯までの時間差を測定し、それを反応時間として評価を行う。試験はそれぞれ 10 回ずつ行い、その平均を求めた。

その結果、LED 点灯までの時間差は 212msec となり、非常に高速で動作することが明らかとなった。従って、本小型制御ユニットは有効に動作することが確認された。

4. 筋電位制御型スピーチバルブ

4.1 小型制御ユニットの応用

上述の結果より、本小型制御ユニットの有効性が確認されたため、他デバイスへの応用が期待される。本ユニットは、発声の開始・停止と連動して動作するデバイスのスイッチングに適用することが可能であるため、発声機能低下時に使用する医用福祉用機器の制御に適していると考えられる。我々はこれら医用福祉用機器のうちスピーチバルブに着目し、その電気制御化を行い、試作制御ユニットを用いた制御実験により筋電位制御型スピーチバルブシステムの有効性についての評価を行った。

4.2 従来のスピーチバルブの問題点

呼吸管理や気道確保のために気管切開を行った患者は、一時的に開口した気管孔に気管カニューレと呼ばれる管状のデバイスを留置し、気管孔が閉鎖されるのを防ぐ。このカニューレを装着した患者は、呼気、吸気共にカニューレより行うこととなり、両者とも声門部を通過せず、その結果声帯振動を起こすことができないため、発声が不可能となる。ところがスピーチバルブを装着することにより、呼気時にはカニューレから空気が漏れることなく、声道を通過させ声帯振動を起こさせることが可能となる。従って、本バルブ使用者は発声を取り戻すことができる。

しかし、従来のスピーチバルブは非常に単純かつ破損しにくい構造となっているが、吸気時には大きな気流抵抗を生じさせることとなる。また、呼気時においても発声を伴わない場合には気流が遮断されるため、通常の呼吸器官を使うこととなる。しかしカニューレを装着しているため、カニューレ背部に空けられた穴を通しての呼吸のため、非常に息苦しく感じられる。

これらの欠点は、安静時にはあまり問題とならないが、運動量の多い患者にとっては大きな負担となり、この息苦しさを嫌がり取り外してしまう場合がある。そこでこ

これらの問題点を解決したスピーチバルブの実現が求められている。

またこのような特徴を持つスピーチバルブをT-Eシャント発声法を使用している患者に適用することで、ハンズフリーでの発声の実現され、さらに現在用いられているハンズフリー用スピーチバルブで生じる、閉鎖不全による発声の失敗の回避が可能となることが期待される。

4.3 筋電位制御型スピーチバルブ

前節で記載した問題点を解決したスピーチバルブに関する条件を以下に示す。

- 1) 開時に気流抵抗が少ない。
- 2) 破損時に部品が気管に侵入しない。
- 3) 高速に動作する (300msec 程度)。

以上の条件をふまえ、図8に示すスピーチバルブを考案し、試作した。本バルブではバルブの開閉機構として、弾性体チューブを電磁スライダで押しつぶして閉塞させるという構造を採用した。弾性体チューブは外径13mm、内径12mmのものであり、その材質はシリコンゴムを採用した。



Fig. 8 Prototype electrical control type speech valve

この弾性体チューブは、気管孔に装着された気管カニューレに接続される。本構造は弾性体チューブ内部には一切の構造物を持たず、破損時においても気管内へ異物が侵入する危険性がほとんどない。また、全開時にはチューブ内に突起物がないため、非常に抵抗が少ないことが期待される。閉鎖のために電磁スライダを用いたため、その動作速度は数十ミリ秒程度であり、十分に高速であると考えられる。

4.4 性能評価

試作したスピーチバルブの評価として、使用時の息苦しさに関する評価を行った。評価実験は以下の流れで、常時 SpO_2 と EtCO_2 を測定しながら行った。

- 1) 心肺機能に負荷をかけるため、階段昇降を行う。18段を5往復。0.5秒に1段移動する。
- 2) 階段昇降終了後直ちに着席し、発声をしながらの呼吸の安定を見るため英単文を朗読する。英単文は219単語から構成される。
- 3) その後、 EtCO_2 が40mmHg以下になるまで計測を続け、着席後からの時間を測定する。

評価基準としては呼吸困難の発生要因の一つとなり得る動脈血酸素飽和度 (SpO_2) [13]、呼気終末二酸化炭素濃度 (EtCO_2) [14]により行う。これらの生体情報はいずれも非侵襲で測定することである、動脈血中の酸素飽和度 (SaO_2)、二酸化炭素分圧 (PaCO_2) が適当であると考えられる[15]が、動脈血は採取が困難であるため、その代替とが可能であり、ここでは Oridion Medical 1987 Ltd.製 Microcap® Plus を使用し、両者を同時に計測した。

被験者は40歳男性、気管孔が開存しており、上部気管、咽頭、喉頭共に残存している。声門部に狭窄があり、気管孔を閉鎖すると運動時、発声時に呼吸困難を訴える。気管孔は随意筋で閉鎖可能。測定に用いた条件を図9に示す。

4.5 結果および考察

図10に測定結果を示す。これより明らかなように、最も楽な条件である1)と比較し、その他の場合では最小 SpO_2 が低く現れている。また最大 EtCO_2 に関しても3)、6)では1)と同じであるが、それ以外では高い値となり換気効率の低下が確認される。既存スピーチバルブと試作スピーチバルブの比較では、試作の方が最大 EtCO_2 は低く、最小 SpO_2 は高い値を示している。 SaO_2 が90%以上であれば呼吸困難を伴わずに発声訓練が可能であると言われており[16]、この94%という SpO_2 の値は苦しさを伴わないことが明らかである。また1)と比較しても、最大 EtCO_2 は等しく、この点からも良好な特性を持つと考えられる。さらに回復時間に着目すると、1)、3)以外のものよりも短い時間で回復しており、この点からも試作スピーチバルブは呼吸が楽であることが明らかである。またその開閉は随意に制御することが可能であり、閉鎖不全による発声の失敗もほとんど生じなかった。

上述の結果から、本試作スピーチバルブとそれを制御する筋電位制御システムは優れた特性を有していることが確認された。

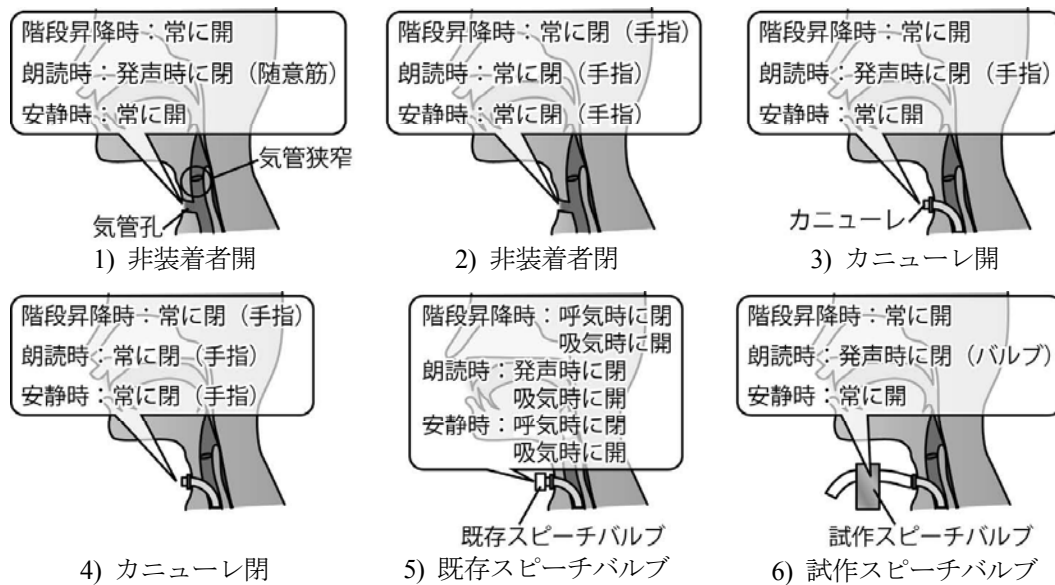


Fig. 9 Conditions of measurement for speech valve control system evaluation

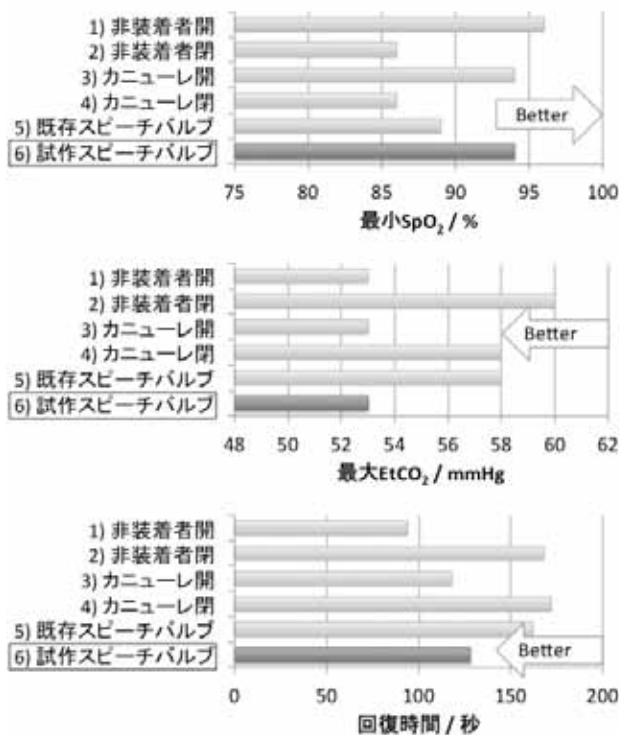


Fig. 10 Results of speech valve control system evaluation

5. 結論

携帯可能な人工喉頭、発声補助デバイス用制御システムの実現のため、オンオフの制御を行う小型制御ユニットを作製した。試作反応速度は高速であったことが確認

された。また、本制御ユニットを用いて制御を行うスピーチバルブは、従来のものと比較して、呼吸の観点から優れた特性を有することが明らかとなり、その開閉も随意に行うことが可能であった。試作スピーチバルブは大型でかつ重く、ベッドサイドでの使用に限定され、現状では日常的な使用には適さないが、その効果は確認されたと考えられる。このスピーチバルブが小型・軽量化されることで、体に装着し日常的に使用可能となることが期待される。

今後はウェアラブル化を目的とした、スピーチバルブの小型化や高機能化、また音声諒解度の向上につながるピッチ周波数制御機能を追加し、人工喉頭への適用についての研究を進める予定である。

なお、本研究は筆者が名古屋大学在籍中に研究し、ROBOMECH 2011 にて発表したものを一部改変ものである。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金 (20700467)、グローバル COE プログラム (マイクロ・ナノメカトロニクス教育研究拠点)、JST 研究成果最適支援事業 A-STEP 【FS】 探索タイプの補助を受けたものである。

参考文献

- [1] 橋場参夫, 山本寧, 山口悦範, 須貝保徳, 他, “音声の自然性を備えた電気人工喉頭の開発研究 (第 2

- 報)”, 北海道立工業試験場報告, 294, pp.143-150, 1995.
- [2] M.I. Singer and E.D. Blom, “An endoscopic technique for restoration of voice after laryngectomy”, *Ann. Otol. Rhinol. Laryngeal.*, 89, pp.529-533, 1980.
- [3] 小林範子, “食道音声の訓練”, *音声言語医学*, 39, pp.456-461, 1998.
- [4] F.J.M. Hilgers, A.H. Ackerstaff, C.J. Van As, A.J.M. Balm, et al., “Development and clinical assessment of a heat and moisture exchanger with a multi-magnet automatic tracheostoma valve (Provox FreeHands HME) for vocal and pulmonary rehabilitation after total laryngectomy”, *Acta Otolaryngol*, 123, pp.91-99, 2003.
- [5] 天津睦郎, “TE シャント術をめぐる”, *日気食会報*, 40(2), pp.134, 1989.
- [6] E.A. Goldstein, J.T. Heaton, J.B. Kobler, G.B. Stanley, et al., “Design and Implementation of a Hands-Free electrolarynx device controlled by neck strap muscle electromyographic activity”, *IEEE Trans. On Biomed. Eng.*, 51(2), pp.325-332, 2004.
- [7] 森田龍彌, 松村雅史, “頸部電気インピーダンスを用いた音声ピッチの推定”, *信学論*, J76-A(3), pp.273-280, 1993.
- [8] 上見憲弘, 伊福部達, 高橋誠, 松島純一, “ピッチ周波数制御型人工喉頭の提案とその評価”, *信学論*, J78-D-II(3), pp.571-578, 1995.
- [9] K. Ooe, T. Fukuda and F. Arai, “A new type of artificial larynx using a PZT ceramics vibrator as a sound source”, *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, 5(2), pp.221-225, 2000.
- [10] 杉尾雄一, 金武良太, 大恵克俊, “人工喉頭の音源利用を目的とした圧電振動体形状の最適化”, *バイオメカニズム学会誌*, 31(4), pp.214-217, 2007.
- [11] 関恵貞, 高橋誠, 西澤典子, 西澤伸志, 他, “胸骨舌骨筋の筋電位制御による電気人工喉頭の試作”, *信学技法*, MBE94-38, pp.107-113, 1994.
- [12] 仲地真吾, 大恵克俊, “筋電位信号による人工喉頭の制御に関する研究”, 第29回バイオメカニズム学術講演会 SOBIM2008 予稿集, pp131-132, 2008.
- [13] J.D. Jacobsen, M.W. Millar, N.S. Matthews, S.M. Hartsfield, et al., “Evaluation of accuracy of pulse oximetry in dogs”, *Am. J. Vet. Res*, 53(4), pp.537-540, 1992.
- [14] S.E. McNulty, J. Roy, M. Torjman and J.L. Seltzer, “Relationship between arterial carbon dioxide and end-tidal carbon dioxide when a nasal sampling port is used”, *J. Clinical Monitoring and Computing*, 6(2), pp.93-98, 1990.
- [15] 渡辺敏, 中村恵子, “NEW 人工呼吸器ケアマニュアル”, 学研メディカル秀潤社, 2000.
- [16] 松井和子, “器械呼吸長期依存頸随損傷者の在宅における呼吸発声訓練”, *日本パラプレジア医学会雑誌*, 12, pp.194-195, 1999.

高湿度中における時効硬化Al 合金の疲労特性に及ぼす 時効組織の影響

仮屋 孝二*・皮籠石紀雄**・中村 祐三**

*第一工業大学 機械システム工学科

**鹿児島大学大学院 理工学研究科

Effect of Aging Structure on Fatigue Properties of Age-Hardened Al Alloy in High Humidity

Kohji KARIYA*, Norio KAWAGOISHI** and Yuzo NAKAMURA**

In order to investigate the effect of aging structure on fatigue properties of an extruded bar of age-hardened Al alloy 7075, rotating bending fatigue tests were carried out on T62, T73 and RRA (retrogression and reaging) treated plain specimens in two relative humidity of 25% and 85%. Fatigue strength in low humidity was higher in the order of the RRA, T62 and T73 treated specimens corresponding to the order of static strength. On the other hand, fatigue strength decreased in high humidity in all of the alloys and the decrease was the highest in the RRA treated specimen, which means that the RRA treated alloy is very sensitive to humidity environment. In case of the T73 treated alloy, cracks propagated in shear mode in high humidity and under high stress levels due to the marked texture of the alloy, though tensile mode crack growth is more common in the alloy. Similar crack growth behavior was found in the T62 treated alloy, too. In case of the RRA treated alloy, however, the tendency for a crack to grow in the shear mode was very weak even in high humidity and under high stress levels in spite that the alloy had the same marked texture. The effects of microstructure and humidity on the initiation and propagation of small cracks were marked in all of the alloys.

Key words: Fatigue, Rotating bending, 7075, Aging condition, T62, T73, RRA, Humidity, Crack initiation, Crack propagation

1 緒 言

高強度金属材料は、応力腐食割れ(SCC)に敏感なため、その機構解明と耐 SCC 改善法に関する研究が数多く行われてきた。たとえば時効硬化 Al 合金の SCC においては、き裂発生過程は応力負荷による不動態被膜の破壊とそこのアノード溶解という機構が一般的であるが、¹⁾き裂伝ばの場合、水素による脆性割れ^{2)~5)}とそれとは逆に水素が転位の移動を助長するという延性破壊^{6)~8)}が考えられ、十分明らかにされていない。このような状況は腐食疲労においても同様である。すなわち本材料の腐食疲労におけるき裂伝ばはぜい性割れにより加速されることが多数報告されているが、それに対する組織の影響は必ずしも明確になったとは言いがたい。このことに関し、著者らは、時効硬化 Al 合金 7075-T6 の押出し材を用いて、結晶粒径を変えた材料の疲労強度に及ぼす湿度の影響を調べ、高湿度下ではぜい性破壊が生じる場合とすべりによる延性破壊が生じる場合があり、それに材料の組織が関係していることを明らかにした。そして脆性破壊と延性破壊のいずれにも水素が影響し、それらの破壊のいずれが生じるかは粒界近傍の水素量が密接に関与している可能性

を指摘した。^{9)~11)}

ところで、耐 SCC 改善法として T73 処理が有効であることはよく知られており、その理由として過時効により粒界における析出物の粗大化とそれに伴う粒界被覆率の減少や、^{12), 13)}転位密度の低下^{14), 15)}が指摘されている。しかし T73 処理の場合、過時効状態となることによる静強度の低下が問題である。これに対し、時効過程で生じる粒内析出物の粗大化を抑制する一方、粒界での析出物は粗大化させ、また高転位密度も低下させることにより、時効処理による強化と SCC 特性の向上を両立させる復元再時効(RRA)処理が提案され、¹⁵⁾静強度の低下を抑制した耐 SCC 材料として評価されている。^{16)~18)}しかし T73 処理や RRA 処理した材料の疲労特性を調べた研究は必ずしも多くはない。

そこで本研究では、前報で検討した腐食環境下の疲労強度低下が顕著な時効硬化 Al 合金 7075-T6 の押出し材を基準材として T73 処理材と RRA 処理材を用いて、相対湿度を変えた環境下で回転曲げ疲労試験を行い、疲労特性に及ぼす時効組織および湿度の影響を、疲労過程における試験片表面の連続観察と破面観察を通じて検討した。

2 材料, 試験片および実験方法

用いた材料は市販の時効硬化 Al 合金 7075-T6(直径 22mm の丸棒)の押出し材である。その化学成分を Table 1 に示す。素材は, T6 の条件で時効処理された状態で納入されたものであるが, 本研究では, 素材に 460℃で 3h の溶体化処理を行い, 次いで 120℃で 24h の時効処理(T6), 110℃, 7h その後 180℃, 6h の時効処理(T73)および T6 の時効の後 200℃, 5min の復元処理を行ってから再び 120℃, 48h の時効処理(RRA)の 3 種類の時効処理を行った。以下では各材を, それぞれ T62 材, T73 材および RRA 材と呼ぶ。なお T62 材の結果の一部は先に報告したもの¹¹⁾で, 今回さらに追加試験を行った。丸棒の横断面で観察した平均結晶粒径はすべての材料で約 13μm である。

またすべての材料は, 面(111)に顕著な集合組織を呈していた。¹⁹⁾

Table 2 に, 各材の機械的性質を示す。引張強さは, T62 材に比べ T73 材はこれまで報告されているように過時効により低下し, RRA 材の場合はほぼ等しい。

Fig.1 に, 試験片の形状, 寸法を示す。ここで用いた試験片は疲労被害の観察を容易にするため, 鈍く浅い円周切欠きを有するが応力集中係数は小さく ($K_t=1.04$), ほぼ平滑材とみなせるものである。試験片表面は, エメリーペーパーによる研磨の後, 電解研磨で約 20μm 除去した。き裂の発生および伝ばの状況はレプリカ法を用い, 光学顕微鏡で観察, 計測した。またき裂の形態および破面の観察は SEM を用いて行った。

Table 1 Chemical composition. (wt.%)

Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Zr+Ti	Ti
0.09	1.47	0.25	0.03	2.56	0.19	5.46	0.03	0.03

Table 2 Mechanical properties.

	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_B (MPa)	σ_T (MPa)	ϕ (%)	HV
T62	527	673	712	11.3	188
T73	485	649	769	15.5	174
RRA	541	674	838	28.9	192

$\sigma_{0.2}$: 0.2% proof stress, σ_B : Tensile strength
 σ_T : True fracture stress, ϕ : Reduction of area

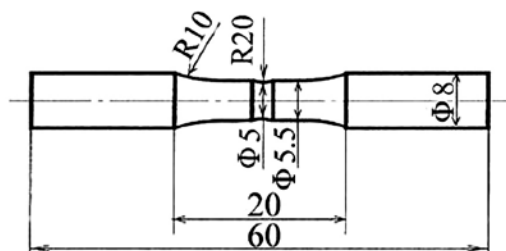


Fig. 1 Shape and dimensions of specimen.

試験機は小野式回転曲げ疲労試験機(容量 15N・m, 繰返し速度約 50Hz)である。試験環境は, 相対湿度 RH25% および 85%であり, 湿度の制御は, 試験機全体をビニールでカバーしたキャビンで覆い, 加湿器と除湿器を併用することで行った。このときの湿度は設定値 $\pm 5\%$ であった。ここで, 湿度として RH25%と RH85%を選んだ理由は, これまでの研究で, RH60-70%付近を境に, それ以下では湿度の影響ほとんどないが, それ以上になると疲労強度は大きく低下することを考慮したためである。^{10), 11)}なお, 疲労強度に対する湿度の影響は, 長寿命になるほど顕著になると考えられるが, 本研究では, 疲労寿命が 10^7 回までの領域を検討対象とした。

3 実験結果

3・1 疲労強度に及ぼす時効組織と湿度の影響

Fig.2 に, T73 材と RRA 材の両環境下における S-N 曲線を示す。図中には, 先に報告した T62 材の結果を比較として曲線のみで示してある(太い実線: T62-RH25%, 太い破線: T62-RH85%)。湿度 25%中の場合, 疲労強度は静強度が高い順に高い。一方湿度 85%の場合, T62 材に比べ T73 材はわずかに高く, RRA 材は逆に低い。すなわち湿度に対する感度は RRA 材が最も高い。この傾向は静強度はもちろん, T62 材に対して T73 材や RRA 材の耐 SCC 特性が優れているということとは必ずしも対応していない。このことはまた, SCC と腐食疲労では時効組織の影響が異なることを示唆している。そこで以下では, 各材における疲労強度に及ぼす湿度の影響が, 時効組織によりどのように異なるかについて, き裂の発生と伝ば過程に分けて検討する。

3・2 き裂の発生と伝ばに及ぼす時効組織と湿度の影響

Fig.3 は, T73 材と RRA 材の両環境下におけるき裂形態の巨視的写真であり, 湿度と応力の影響を示している。湿度 25%中の場合, 両材とも応力に関係なく引張形で伝ばしているのに対し, 湿度 85%中の場合, T73 材は低応

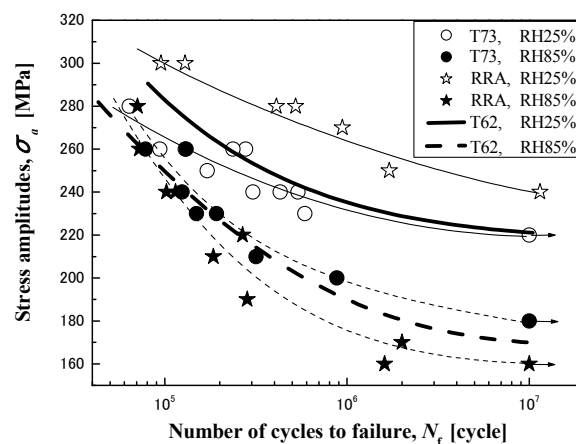


Fig.2 S-N curves.

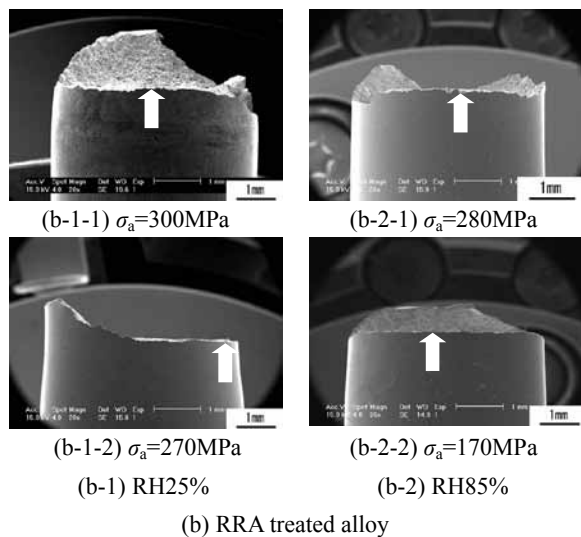
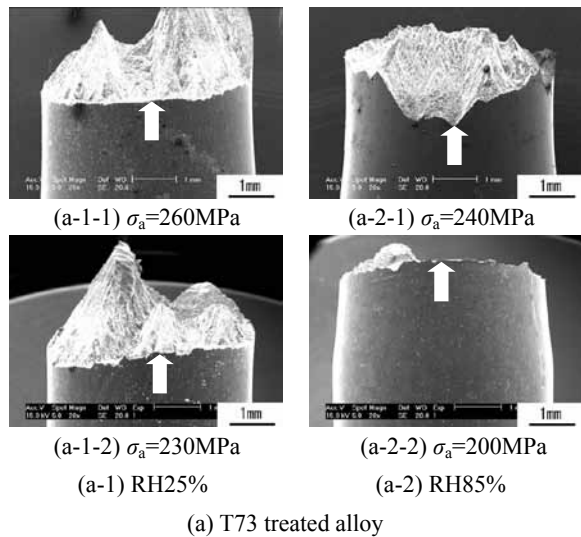


Fig.3 Morphology of crack (↑ crack initiation site).

力では湿度 25% 中と同様に引張形伝ばであるが、高応力では発生初期のせん断形き裂が引張形へ遷移することなく、そのまま巨視的にもせん断方向へ伝ばしている（以下本論文では、このようなき裂をせん断形と呼びいわゆるモード I の引張形と区別する）。そして、せん断形き裂の伝ば方向は、試験片軸方向に対し約 35 度であり、これらの結果はすべて先に報告した T62 材¹¹⁾と同様である。また RRA 材の場合も高応力ではせん断形を呈しているが((b-2-1)の⇒印部分、詳細は Fig.4 (b-2)を参照)、その傾向は小さい。そして低応力になると T73 材と同様に引張形伝ばである。

Fig.4 に、T62 材、T73 材および RRA 材のき裂伝ば曲線を示す。Fig.2 に示したように、湿度 25% 中の疲労強度は 3 種の材料で大きく異なるので、同図では材料間の比較を容易にするため応力を揃えた比較として、T62 材を基準に(a)T62 材と T73 材の比較、(b)T62 材と RRA 材の比較と分けて示してある。また T62 材と T73 材では高湿度でき裂がせん断形で伝ばする場合もあるので、引張形で伝

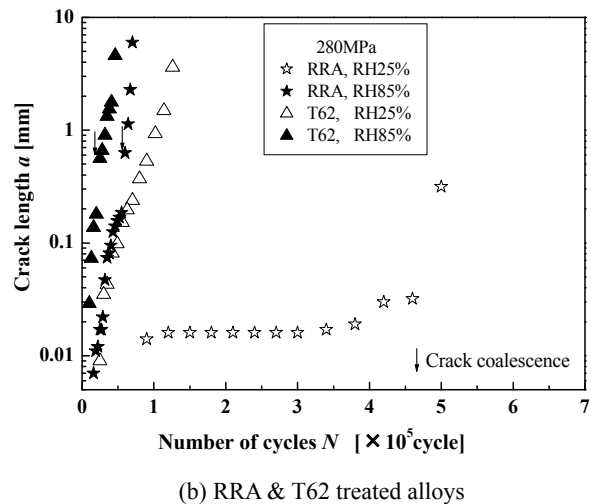
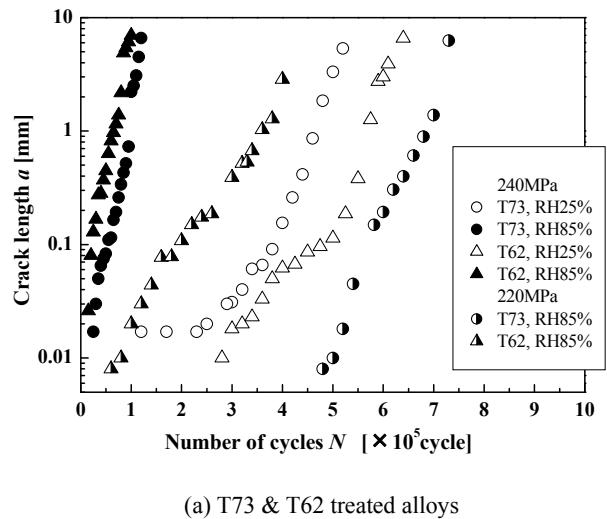
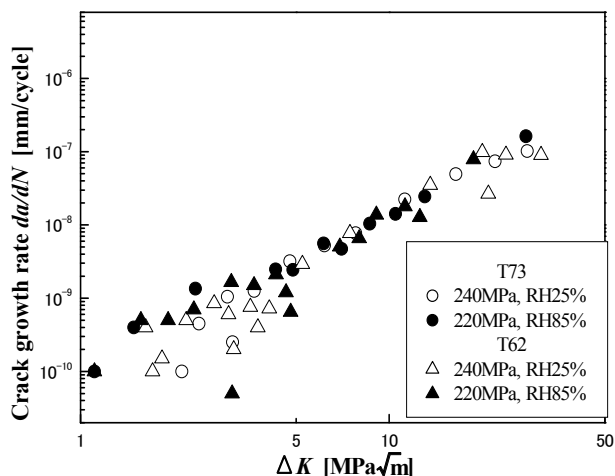


Fig.4 Crack growth curves.

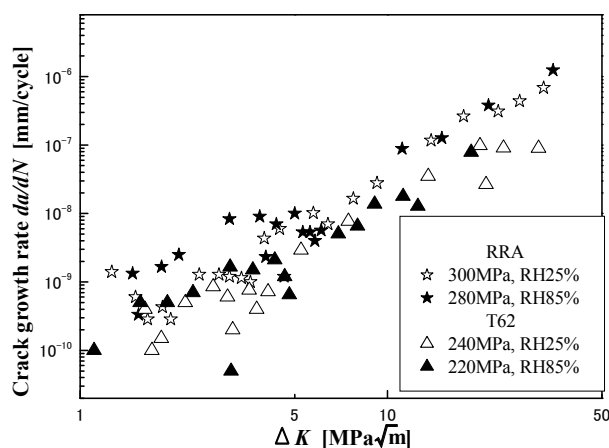
ばする場合 ($\sigma_a=220\text{MPa}$) に加え、せん断形で伝ばする場合 ($\sigma_a=240\text{MPa}$) の結果も示してある。先ず時効組織の影響を湿度 25% 中の結果でみると、き裂発生は T73 材が最も早く、次いで T62 材そして RRA 材の順である。

また発生したき裂は、T62 材では応力繰返しに伴いほぼ単調に伝ばするが、T73 材と RRA 材の場合発生後しばらく伝ばの停滞期間が認められる。そしてき裂伝ばは、結晶粒程度以上になると単調増加となる。これに対し湿度の影響は 85% 中の結果との比較からわかるように、すべての材料でき裂発生は早くなるとともに、湿度 25% 中の T73 材と RRA 材でみられた短いき裂の伝ば停滞は消失している。

Fig.5 は、両湿度中のすべての材料において、き裂が引張形で伝ばした場合のき裂伝ば速度 da/dN と応力拡大係数幅 $\Delta K[(2/\pi)\Delta\sigma\sqrt{\pi a}]$ が近似]の関係である。図中(a)は T73 材、(b)は RRA 材の結果であり、これらの図でも Fig.4 と同様に、T62 材の結果も示してある。前述のように、T73 材、RRA 材共にき裂が短い領域に相当する低 ΔK 域では、



(a) T73 & T62 treated alloys



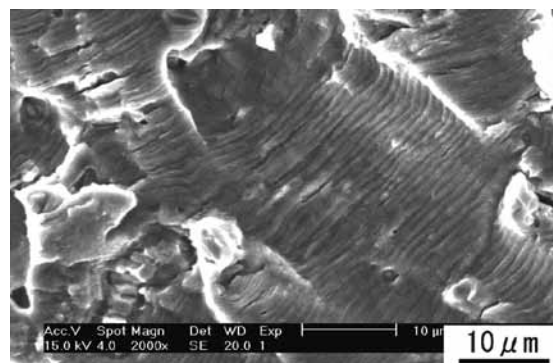
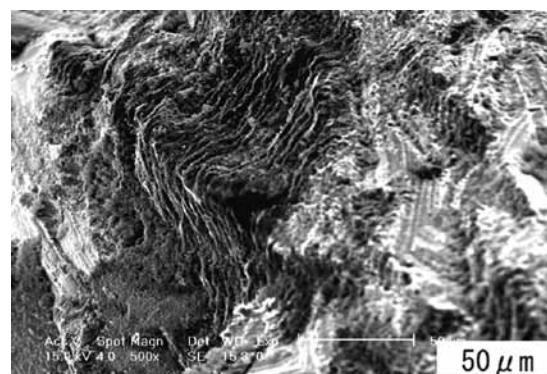
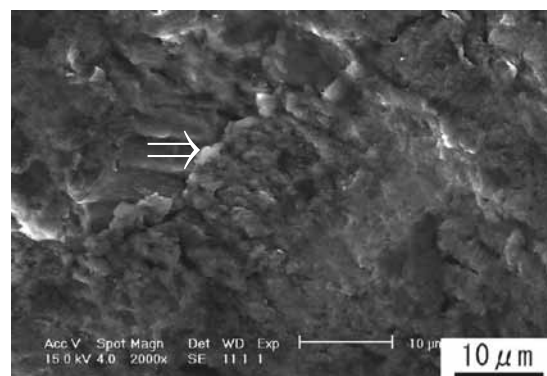
(b) RRA & T62 treated alloys

Fig.5 Crack growth rate against to stress intensity factor range (tensile mode crack).

高湿度によりき裂伝ば速度は加速しているが、 $\Delta K \approx 5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以上になると湿度の影響は非常に小さい。

さらにその時のき裂伝ば速度に対する時効組織の影響をみると、T73材とT62材ではほぼ等しく、RRA材で速い。一方高湿度中、高応力下で明確なせん断形き裂となる場合、T73材とT62材のき裂伝ば曲線 (Fig.4) の傾き (き裂伝ば速度) からわかるように、き裂伝ば速度に及ぼす時効組織の影響は小さい。なおせん断形き裂の場合、き裂面の形状が複雑であるためき裂伝ば速度を簡単なパラメーターで比較するのは難しい。

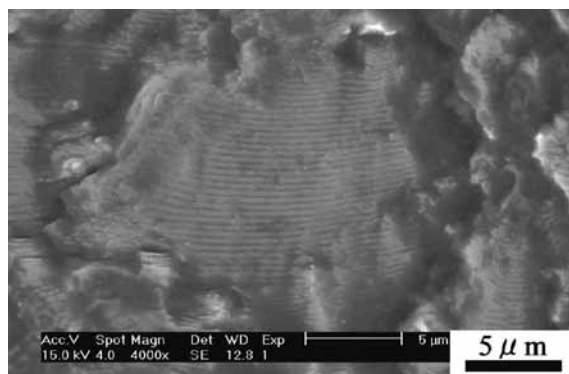
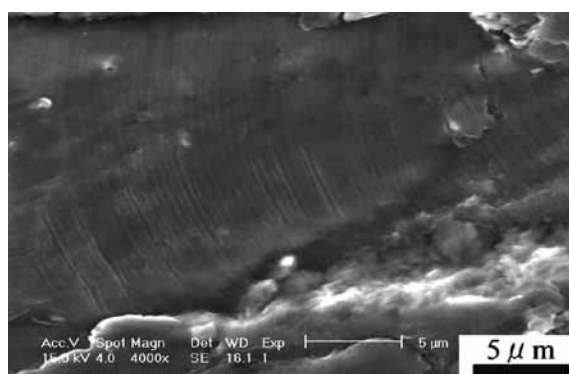
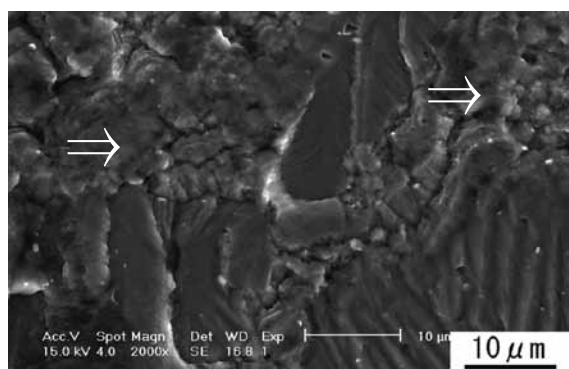
Fig.6とFig.7に、T73材とRRA材の破面写真をそれぞれ示す。湿度25%中の場合、両材ともに破面はストライエーションで占められる。これに対し高湿度になると、T73材の高応力域のせん断形で伝ばした領域では、き裂発生初期ではほとんどがボイドで占められ、き裂の成長に伴い、それは減少し、ボイドとすべり破面の混在した

(a) RH25% (tensile mode crack, $\sigma_a=240\text{MPa}$)(b-1) Shear mode crack ($\sigma_a=240\text{MPa}$)(b-2) Tensile mode crack ($\sigma_a=200\text{MPa}$)

(b) RH85%(⇒brittle facet)

Fig.6 Fracture surfaces (T73 treated alloy).

様相を呈する。ここで観察されたボイドは、蛇行すべりに類似しているが、それらは微小なボイドがつぶれた形状であることから、ボイドがせん断応力により変形した結果として形成されたものと考えられる。これに対し低応力域ではストライエーションが支配的で、その中に一部平坦な特徴を有するぜい性的破面 (Fig.6(b-2)中⇒印) が確認される。一方RRA材の場合、高応力域のせん断形伝ばとなるき裂発生後の極初期にT73材と同様のボイドが観察され、その後の引張形伝ばとなる内部はストライエ


 (a) RH25% (tensile mode crack, $\sigma_a=300\text{MPa}$)

 (b-1) Shear mode crack ($\sigma_a=280\text{MPa}$)

 (b-2) Tensile mode crack ($\sigma_a=170\text{MPa}$)

 (b) RH85% ($\Rightarrow$ brittle facet)

Fig.7 Fracture surfaces (RRA treated alloy).

ーシオンの中に一部ぜい性的破面(Fig.7(b-1)および(b-2)中 $\Rightarrow$ 印)が観察された。また引張りき裂の伝ばとなる低応力域では T73 材と同様に、ストライエーションが支配的で、その中にも一部ぜい性的破面(Fig.7(b-2)中 $\Rightarrow$ 印)が確認される。なお図は省略するが、T73 材のせん断形伝ばにおける破面をエッチピット法で観察した結果、面(100)であることが確認された。すなわち、T73 材のせん断形き裂の伝ばにおける巨視的および微視的破面さらにその結晶学的特徴は T62 材のそれら¹¹⁾と同様である。

4 考察

以上示したように、時効組織の影響はき裂の発生とその後の初期伝ばにおいて顕著で、それに加えてき裂が結晶粒径程度以上の長さになるとき裂伝ば速度は T73 材と T62 材ではほぼ等しく、RRA 材で大きい。また湿度の影響は各材共に、高湿度によるき裂の発生とその初期伝ばの加速として生じるのみで、安定成長過程でのき裂伝ば速度への影響は非常に小さい。以下では、これらの結果を、時効組織と湿度の影響にわけて検討する。

4・1 き裂発生と伝ばに及ぼす時効組織の影響

Al-Zn-Mg-Cu 系のアルミニウム合金の時効過程は、整合な G.P. ゾーンの形成から η' 中間相を経て非整合な $\eta(\text{MgZn}_2)$ 安定相の形成に変化することが明らかにされており、²⁰⁾時効硬化の主たる要因は、G.P. ゾーンの形成と η' 中間相の析出であり、 η 相になると軟化する。すなわち過時効状態である T73 材の組織は、粒内、粒界共に析出物は T62 材より粗大化する。このことが強度低下の理由の一つであるが、逆に粒界析出物の粗大化に伴う析出物の粒界被覆率の低下が耐 SCC 特性の改善に寄与すると考えられている。^{1・3)} 一方 RRA 材の場合、粒内析出物は T62 材並に微細で、粒界析出物は T73 材並に粗大化したもので、T62 材と T73 材の優れた特性を併せ持つ組織となっている。^{1・7)}

このような組織の相違を考慮して、疲労き裂の発生と初期伝ばに及ぼす組織の影響を推定すると、粒内強度が低い順にき裂は発生することになり、T73 材が最も早くき裂は発生する。しかし結晶粒径程度の小さいき裂の伝ばにおいては、T62 材の母相と整合な析出相は転位により容易にせん断されるのに対し、非整合な安定相を有する T73 材では析出物のせん断が困難になるので、その分き裂伝ばへの抵抗が大きく、結果として粒界近傍での伝ば停滞が生じる。また過時効によるすべりの分散、すなわち応力集中の緩和もき裂伝ば抵抗の増加に寄与するものと考えられる。一方 RRA 材の場合、T62 材並の粒内抵抗に加え、粒界は T73 材と同様の抵抗をもつことから、き裂の発生と初期伝ばのいずれにおいても高い抵抗を持つことになる。このような解釈のもとに、Fig.4 のき裂伝ば曲線を見ると、RH25%中の場合、上記推定に対応して、T73 材のき裂発生は T62 材のそれより早い、き裂発生後、結晶粒径程度の短いき裂の伝ば過程で伝ばの停滞現象が確認される。また RRA 材の場合、き裂の発生時期は T62 材と同程度であり、さらにき裂の発生初期は T73 材と同様なき裂の停滞現象が生じることも理解される。しかしある程度長くなった後のき裂伝ば速度は T73 材や T62 材より大きい。これについては、RRA 材のき裂は T73 材のそれより直線的であることから、き裂開口効果が小さいことに関係しているものと考えられるが、直線的になる理由も含め析出物との関係でさらなる検討を要する。

4・2 き裂発生と伝ばに及ぼす湿度の影響

各材料のき裂発生と初期伝ばにおける湿度の影響も組織の違いから次のように説明できる。先ずすべての材料で、き裂の発生と初期伝ばは、高湿度により促進され、とくに T73 材と RRA 材の湿度 25% 中で認められたき裂伝ばの停滞現象は消失した。これらは、長寿命になるほど試験片表面に腐食生成物が明瞭に観察され、しかもそれは増加する⁹⁾ことから、マトリックスと析出物等間の電位差に基づくアノード溶解に起因したものと理解され、とくに Al 中で卑な電位となる η 相 (MgZn_2)²¹⁾ の溶解が大きく影響しているものと考えられる。一方、結晶粒径以上のある程度長いき裂の伝ばにおいては、引張形伝ばの場合 Fig.5 に示したように、すべての材料でき裂伝ば速度に及ぼす湿度の影響は非常に小さい。これは高湿度、低応力の場合、すべての材料でストライエーションの中にぜい性的割れが混在する破面が観察されたが、それらの破面に占める割合は非常に少なく高湿度による加速の原因としては小さいことが理由である。また高湿度下の T73 材や T62 材で顕著に生じたせん断形き裂の伝ばでも低湿度の引張形伝ばよりき裂伝ば速度は大きくなるものの、き裂発生と初期伝ばの加速に比べればその程度は小さく (Fig.4), 寿命低下の主因は引張形伝ばの場合と同様である。

以上、本研究の結果より、SCC で認められる時効組織の影響は腐食疲労では非常に小さいことが明らかになった。これは、SCC における時効組織の影響は主としてき裂伝ば過程で大きい、今回の高湿度下の疲労では、アノード溶解に起因してき裂発生と初期伝ばの加速として生じ、数結晶粒以上のき裂伝ば過程でのき裂伝ば速度への影響は非常に小さいことが関係している。そしてそれには両損傷における応力状態 (SCC の場合単調引張負荷であるのに対し、疲労の場合繰返し応力である)、負荷速度、き裂伝ば速度等が異なることに起因しているものと考えられる。いずれにしろ、本研究の結果は、少なくとも SCC における過時効組織の有効性を、高湿度下における疲労の場合にそのまま期待することはできないことを示唆している。

5 結 言

Al-Zn-Mg-Cu 系の Al 合金 7075 の疲労特性に及ぼす時効組織と湿度の影響を検討するため、T73 処理材と RRA 処理材を用いて、相対湿度を 25% と 85% に変えた環境下で回転曲げ疲労試験を行った。そして先に報告した T62 処理材の結果も含め、疲労き裂の発生と伝ばさらに破壊機構について検討した。得られた主な結論は以下の通りである。

- (1) 湿度 25% 中の場合、疲労強度は RRA 材が最も高く、T62 材、T73 材の順に低くなり、静強度の高い順に対応していた。これに対し、湿度 85% の場合、T62 材

に比べ T73 材はわずかに高く、RRA 材は逆に低い。すなわち高湿度に対する感度は RRA 材が最も高い。

- (2) 湿度 25% 中の場合、すべての材料が引張形で伝ばした。これに対し、湿度 85% 中の場合、T73 材、RRA 材共に T62 材と同様に高応力ではせん断形、低応力で引張形であった。しかし RRA 材におけるせん断形き裂の伝ば傾向は非常に小さい。
- (3) 時効組織と湿度の影響は、き裂の発生と初期伝ばにおいて顕著であった。
- (4) 安定成長するき裂の伝ば過程におけるき裂伝ば速度は、T73 材と T62 材でほぼ等しく、RRA 材で速い。また、その時のき裂伝ば速度に及ぼす湿度の影響は各材ともほとんど認められない。
- (5) 湿度 25% 中の場合、すべての材料の破面はストライエーションで占められた。これに対し高湿度の場合、T73 材の高応力域のせん断形で伝ばした領域では T62 材と同様にボイドとすべり破面、低応力域の引張形伝ば部ではストライエーションの中に一部ぜい性的割れが認められた。また RRA 材では、高応力域でせん断形により伝ばするき裂発生初期ではボイドが認められたが、その後の引張形による伝ば領域はストライエーションとわずかなぜい性的破面が、そして完全に引張形伝ばとなる低応力域では同じくストライエーションの中に一部ぜい性的割れが混在する破面であった。

文 献

- 1) Y. Murakami, "Stress-corrosion cracking of aluminum alloys", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.31, No.11, pp.748-757(1981).
- 2) M.O. Speidel, "Stress corrosion cracking of aluminum alloys, Metallurgical Transactions A, Vol.68, pp.631-650 (1975).
- 3) G.A. Young, Jr. and J.R. Scully, "The effects of test temperature, temper, and alloyed copper on the hydrogen-controlled crack growth rate of an Al-Zn-Mg-(Cu) alloy", Materials Transactions, Vol.33, No.1, pp.101-115(2002).
- 4) T. Ohnishi and Y. Nakatani, "Effects of some factors on stress corrosion susceptibility of Al-Mg alloys, Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.26, No.1, pp.18-28(1976).
- 5) S. Kuramoto, M-H, Hsieh and M. Kanno, "Environmental embrittlement of Al-Mg-Si base alloys deformed at low strain rates in laboratory air", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.52, No.6, pp.250-255(2002).
- 6) C.D. Beachem, "A new model for hydrogen-assisted cracking (hydrogen embrittlement)", Metallurgical Transactions Vol.3, pp.437-451(1972).

- 7) P.J. Ferreira, I.M. Robertson and H.K. Birnbaum, "Hydrogen effects on the interaction between dislocations", *Acta Materialia*, Vol.46, pp.1749-1757(1998).
- 8) I.M. Robertson, "The effect of hydrogen on dislocation dynamics", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol.68, pp. 671-692(2001).
- 9) K. Kariya, N. Kawagoishi, T. Fukudome, Y. Nakamura and E. Kondo, "Effect of humidity on fatigue strength of extruded and age-hardened Al alloy under rotating bending", *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, Vol.60, No.4, pp.339-344(2011).
- 10) N. Kawagoishi, T. Fukudome, K. Kariya, Q. Chen and M. Goto, "Fatigue strength of age-hardened & extruded Al alloy under high humidity (rotating bending and ultrasonic loading)", *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, A*, Vol.76, No772, pp.1651-1658 (2010).
- 11) N. Kawagoishi, K. Kariya, Q. Chen, M. Goto and Y. Nakamura, "Growth mechanism of shear mode fatigue crack of age-hardened Al alloy", *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, Vol.60, No.10, pp.890-897 (2011).
- 12) J.K. Park, "Influence of retrogression and reaging treatments on the strength and stress corrosion resistance of aluminum alloy 7075-T6", *Materials Science and Engineering*, A103, pp.223-231(1988).
- 13) T. Ohnishi, Y. Nakatani and H. Sakamoto, "Effect of microstructure on stress corrosion susceptibility of Al-Mg alloy", *Journal of Japan Institute of Light Metals*, Vol.26, No.1, pp.8-17(1976).
- 14) A.J. Jacobs, "The role of dislocation in the stress-corrosion cracking of 7075 aluminum alloy", *Transactions of the ASM*, Vol.58, pp.579-600(1965).
- 15) M.N. Tarianker and B. Cina, "Retrogression and re-aging and the role of dislocation in the stress corrosion of 7000-type aluminum alloys", *Metallurgical Transaction, A*, Vol.20A, pp.2087-2092(1989).
- 16) X.J. Wu, M.D. Raizenne, R.T. Holt, C. Poon and W. Wallace, "Thirty years of retrogression and re-aging (RRA)", *Canadian Aeronautical and Space Journal*, Vol.47, No.3, pp.131-138(2001).
- 17) O.S. Es-Said, W.E. Frazier and E.W. Lee, "The effect of retrogression and reaging on the properties of the 7249 aluminum alloy", *The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), JOM*, Vol.55, pp.45-48(2003).
- 18) T. Ohnishi and H. Kume, "Scattering in stress corrosion resistance of RRA-treated 7475 aluminum alloy", *Journal of Japan Institute of Light Metals*, Vol.41, No.9, pp.582-589(1991).
- 19) N. Kawagoishi, T. Fukudome, Y. Nakamura, Y. Ohzono and M. Goto, "Propagation of shear mode crack in age-hardened and extruded Al alloy under ultrasonic loading", *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A*, Vol.76, No.767, pp.938-947(2010).
- 20) The Japan Society of Light Metals ed., *Microstructures and properties of aluminums (in Japanese)*, p.302(1991).
- 21) Japan Society of Corrosion Engineering ed., *Bousyoku gijyutu binnran (in Japanese)*, p.426(1986).

ヒノキに含まれる植物生育阻害物質の除去 および阻害物質の微生物への影響

吉 田 清 司

第一工業大学 自然環境工学科

Removal on plant growth inhibitor included in hinoki cypress and influence on microbe

Seiji YOSHIDA

Abstract

Keywords: *hinoki cypress extract, plant growth inhibitor, tannic acid, phenol, heat-treatment, alkali processing, composting, microbe*

The removal on a plant growth inhibitor included in hinoki cypress and influence on microbe was examined. Because a plant growth inhibitor may have an influence at the time of composting. As a result of experiment, the tannic acid and the phenol which were a plant growth inhibitor were able to remove a hinoki cypress by alkali processing and heat-treatment. Therefore I experimented on two ways. One of way mixed a raw hinoki cypress sawdust and garbage and cow dung and performed composting. Another mixed the hinoki cypress sawdust which did alkali processing and garbage and cow dung and performed composting. Compost temperature rose to 70 degrees Celsius, and both experiments understood that a microbe acted lively. Therefore, I understood that the microbe in the composting was not affected by the obstruction thing. Other hand, from the result of the germination examination of a kind of Chinese cabbage for inhibitor, the hinoki cypress extract provided from alkali processing and heat-treatment showed an obstruction effect for plant growth.

1. はじめに

本報告はスギおよびヒノキの間伐材をおが粉状にして、生ごみや畜ふん、集落排水汚泥等と共に混合し、堆肥化する新しい試みを行うのにあたり、特にヒノキに含まれるタンニンやフェノール物質等の植物生育阻害物質の除去方法の検討と阻害物質が生ごみ等の有機物を分解する微生物に影響を与えるかどうかについて検討したものである。

2. 実験方法

石井ら¹⁾はヒノキに含まれる植物生育阻害物質の除去方法について、熱的处理およびアルカリ溶出処理が有効であるとことを報告している。今回はこの二点について実験を行った。

2-1. 阻害物質の簡易測定法

アルカリ溶出方法によって溶出した液を分光光度計によってスキャンし、得られたピーク波長 277nm の吸光度 (OD_{277}) と液に含まれる阻害物質の一つであるタンニン酸濃度を folin-denis 法で測定し、 OD_{277} とタンニン酸濃度との関係を求めた。

2-2. 熱的处理方法

ビーカーに 1ℓの水を入れ、電気ヒータによって所定の温度に自動コントロール加温した後、50g のヒノキおが粉 (含水率 36%) を添加、攪拌し、経時的に液の OD_{277} を測定した。

2-3. アルカリ処理法

ビーカーに 1ℓの水を入れ、 $Ca(OH)_2$ および NaOH を添加して所定の pH に調製した後、50g のヒノキおが粉を添加、攪拌し、経時的に液の OD_{277} を測定した。

2-4. 熱処理およびアルカリ処理後の溶出液およびおが粉が微生物および植物に及ぼす影響

2-4-1. 処理溶出液の微生物への影響

ヒノキおが粉を熱処理およびアルカリ処理した後の液を $0.22\mu m$ の滅菌メンブレンフィルターでろ過し、そのろ液 1ml を普通寒天培地に塗末した。この時、原液を滅菌水道水で 3 水準に薄めて実験した。一方、腐葉土 50g を 500ml の水道水に分散し、30 分後の上清を菌源として用い、希釈して普通寒天培地に塗末し、 $30^\circ C$ で培養した。48 時間後のコロニー数を計測し、対照と比較した。

2-4-2. 処理溶出液の植物への影響

溶出液をシャーレに入れた脱脂綿にしみこませ、小松菜の種 20 粒を植種した。溶出液は硫酸および水酸化ナトリウムで中和して用いた。

2-4-3. 処理おが粉の細菌への影響

ヒノキおが粉を熱処理およびアルカリ処理した後、熱処理したヒノキおが粉はそのまま、一方、アルカリ処理したおが粉は硫酸によって中和 (pH8.0) した後、生ごみに見立てたペットフードと微生物源の腐葉土を混合し、 $30^\circ C$ で培養した後、細菌の増殖を調べた。細菌数は普通

寒天培地にコロニーとして生育した数を培養基材の乾燥重量 g 当たりの数で表した。

2-5. 溶出阻害物質の吸着処理

アルカリ液によって溶出された植物生育阻害物質を活性炭の吸着材によって吸着処理した。ヒノキおが粉をアルカリ溶出した液 1ℓ に吸着材として用いた、ヒノキ炭および活性炭を添加し、経時的に液の OD_{277} の変化を調べた。

2-6. 堆肥化実験

無処理のヒノキおが粉とアルカリ処理したヒノキおが粉を用いて約 3m³ の堆肥化実験を行った。堆肥化材料には、生ゴミ、牛糞およびエノキ菌床廃おが粉を用い、それぞれの配合は表—1 に示すとおりである。

表—1 ヒノキおが粉堆肥化実験配合表

原料名	Case-1 (A)	Case-2 (B)	Case-3 (C)	計
生ゴミ	0.24m3 (0.17t)	0.24m3 (0.17t)	0.19m3 (0.13t)	0.68m3 (0.48t)
エノキ菌床おが粉	0.35m3 (0.21t)	0.35m3 (0.21t)	0.28m3 (0.16t)	0.99m3 (0.59t)
牛糞+おが粉	0.86m3 (0.43t)	0.86m3 (0.43t)	0.97m3 (0.89t)	2.69m3 (1.35t)
ヒノキおが粉		1.44m3 (0.43t)		1.44m3 (0.43t)
■ (処理済み)	1.44m3 (0.43t)		1.46m3 (0.44t)	2.9m3 (0.87t)
尿素※1			(10.2kg)	(10.2kg)
過磷酸石灰※2			(3.4kg)	(3.4kg)
計	2.9m3 (1.24t)	2.9m3 (1.24t)	2.9m3 (1.22t)	8.69m3 (3.72t)

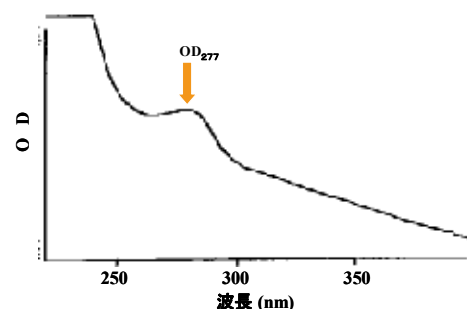
計算には次の値を用いた。ヒノキ：C/N=583, 水分率=30%, かさ比重=0.3, 処理済みヒノキ：C/N=?, 水分率=30%, かさ比重=0.3, 牛糞+おが粉：C/N=28.9, 水分率=80%, かさ比重=0.5, 生ゴミ：C/N=16.8, 水分率=80%, かさ比重=0.7, エノキ菌床おが粉：C/N=29.6, 水分率=65%, かさ比重=0.6 鶏糞：C/N=7.9, 水分率=15.5%, かさ比重=0.6, 尿素※1は C/N を 30 に設定、過磷酸石灰※2は C/N を尿素的の 1/3 に設定

3. 結果および考察

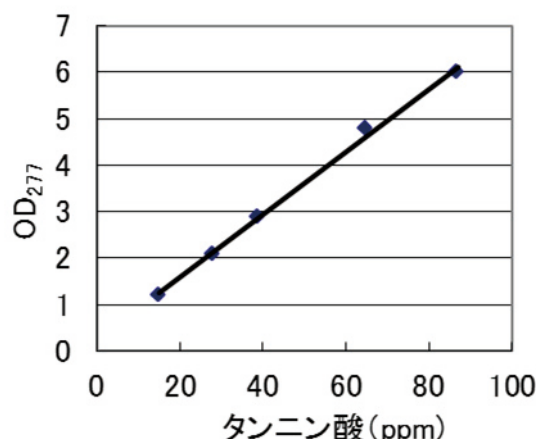
3-1. 植物生育阻害物質の簡易測定法

阻害物質のタンニンやフェノール物質は高速液体クロマトグラフィーで測定できるが、手間と時間がかかりサンプル数が多くなると実用的とはいえない。そこでクロマトグラフィーに替わる簡便な測定方法について検討した。我々は溶液中のある物質が特定の波長を受けると吸収する性質のあることを経験する。ヒノキからの溶出液について、この現象が見られないかどうか調べた。その結果、図—1 に示すように 277nm の波長に吸光のピークが認められた。そこで、ヒノキおが粉を pH の異なるアルカリ溶液で処理して得られた溶出液の OD_{277} と阻害物質の一つであるタンニン酸濃度を測定し、これらの相関性を調べてみると、図—2 に示す直線関係が得られた。この結果から、分光光度計による OD_{277} を測定することによって阻害物質濃度を間接的に測定できることが明らかにな

った。



図—1 ヒノキ抽出液のスキニング



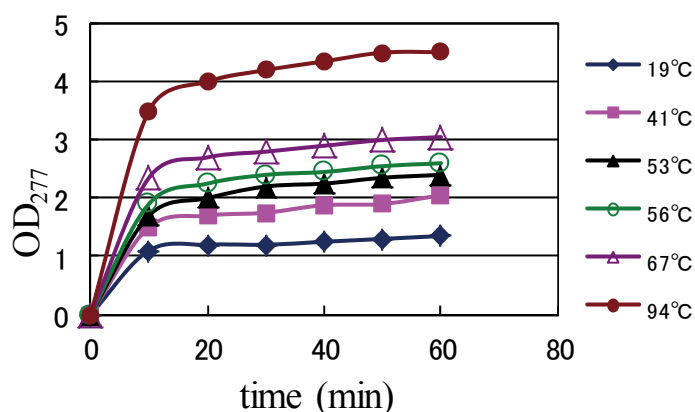
図—2 タンニン酸濃度と OD_{277} の関係

3-2. 熱的処理方法

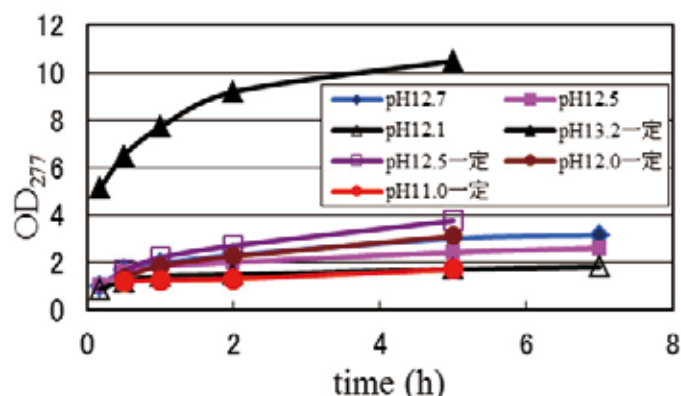
ヒノキおが粉を 19℃ から 94℃ に変化させた湯温で処理した OD_{277} の変化を図—3 に示した。いずれも 10~30 分の加熱時間で、その湯温に対する阻害物質の溶出がほぼ完了することが分かった。したがって、この方法での阻害物質の除去を行うためには加熱時間を 30 分とれば十分であることが示唆された。また、温度による阻害物質の溶出濃度は温度が高いほど大きく、実験では 94℃ で最大となった。

3-3. アルカリ処理方法

アルカリ処理方法による阻害物質の溶出結果を図—4 に示した。ヒノキおが粉に対するアルカリ液の作用方法を 2 通りに分けて実験を行った。一つは作用液のアルカリ濃度を間接的に示す pH を実験開始時一定にしておいて、その後はヒノキおが粉から溶出するタンニン酸の酸性物質による pH の低下を無視して実験をおこなった。もう一つの方法は低下する pH の値を所定の pH に保持するために水酸化カルシウムおよび水酸化ナトリウム液を添加して実験を行った。水酸化カルシウムによる pH は 11.0 ~12.7 に変化させた。この場合、水酸化カルシウムの溶

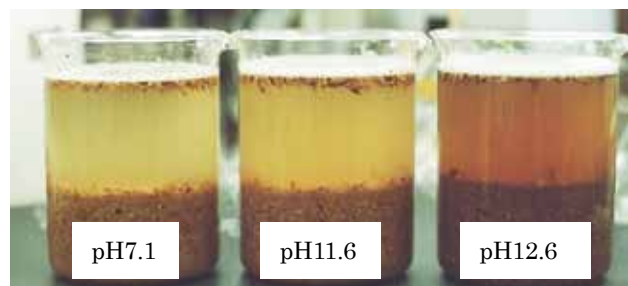


図—3 温度を変化させたときのヒノキ液抽出
時間と OD_{277} の関係



図—4 pH を変化させたときのヒノキ液抽出
時間と OD_{277} の関係

解度が低く、pH が 11 以上になる量を添加すると、未溶解部分が白濁した。また、pH を 13 以上にするために、水酸化ナトリウム溶液を用いた。実験の結果、pH を一定に、さらに、強アルカリに保持したほうが、植物生育阻害物質の溶出が容易に行われることが明らかになった。これは阻害物質が酸性物質であるために溶液の pH が高いほど酸性物質の影響を受けづらく、pH の低下が遅延するためと思われる。また、pH が 12.7 と 13.2 の間には阻害物質の溶出に大きな差が見られたが、これは、単にアルカリ濃度の差なのか、ナトリウム塩とカルシウム塩の差によるものか、今後の検討が必要である。図—5 に pH の差によるヒノキおが粉からのタンニン酸等の溶出状況を示した。



図—5 異なる pH 値によるヒノキ抽出液の色調の変化

3-4. 熱処理およびアルカリ処理後の溶出液と処理後のおが粉が微生物および植物に及ぼす影響

3-4-1. 処理溶出液の微生物への影響

溶出液による微生物への影響についての結果を表—2 に示した。実験に用いた溶出液は熱処理の場合は OD_{277} 値が 4.2 のものを、アルカリ処理では 6.2 のものを用いた。いずれの溶出液にも同一オーダーの細菌が生育し、溶出液による細菌への影響はほとんどないと思われる。また、スギについても溶出条件をヒノキと同様に行ったものを実験に用いたが、ヒノキ同様、微生物への影響はほとんど認められない結果となった。

表—2 微生物を抽出液で培養した場合のコロニー発生数
(CFU/g)

原液	水	ヒノキ熱処理液	ヒノキアルカリ処理液	スギアルカリ処理液
0	100	4.8	6.1	4.4
100	0	4	6.1	4.2
70	30	4.1	6.3	3.2
50	50	3.1	6.6	5
30	70	4.1	5.3	3.9

3-4-2. 処理溶出液の植物への影響

処理溶出液の植物への影響についての結果を表—3～5 および図—6～8 に示す。熱処理後およびアルカリ処理後の溶液はそれぞれ OD_{277} の値が 4.2 および 6.2 のものを用い、スギについてはヒノキと同様にアルカリ処理した液を使用した。表—3～5 には処理原液を水道水で希釈した場合の小松菜の一週間後の発芽状況、茎の長さおよび葉の大きさを示したが、対照とした水道水のみと比べ、すべての項目について劣ることが明らかとなり、ヒノキおよびスギの溶出液成分の中に植物生育阻害物質のあることが裏付けられた。図—9 には溶出液による根の伸長状態を示したが、水のみ対照は根の伸長が認められるのに対して、ヒノキの熱処理およびアルカリ処理さらに、スギのアルカリ処理後の液はいずれも根の伸長が認められず、生育障害を受けることが認められた。しかし、小松菜の生育が悪い原因として、水酸化カルシウム溶液を硫酸で中和した後の塩類が影響しているのではないかと懸念もあり、ヒノキをアルカリ処理した水酸化カルシウム量とこれを中和するのに必要な硫酸で中和処理した液を作成して小松菜の生育試験を行った。結果を図—10 に示す。この結果から小松菜の発芽は塩類濃度に関係なく生育することが分かった。したがって、図—3～4 に示すようにヒノキおが粉を熱処理およびアルカリ処理して得られる褐色の抽出溶液には植物の生育を阻害する物質が含まれることが示唆される。また、溶液に抽出される植物生育阻害物質濃度は色調が濃くなるほど OD_{277} の値が大きく、その状態は目視からも窺うことができる。

表—3 ヒノキ熱処理抽出液による小松菜の発芽試験

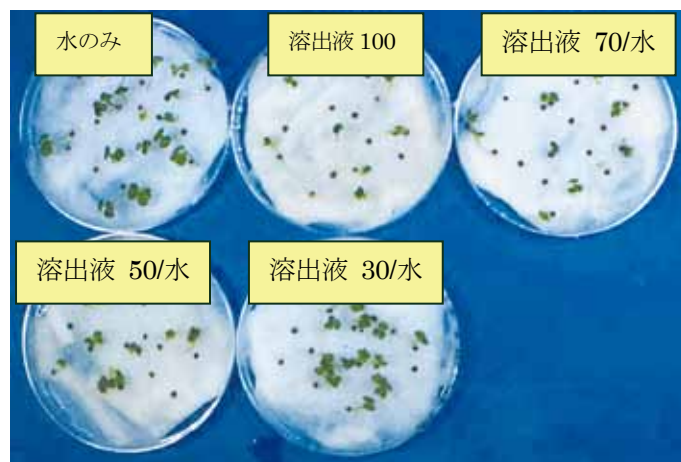
原液	水	発芽数 (個)	茎長さ (mm)	葉の大きさ (mm)
0	100	18	6.6-21.0	5.5-7.7
100	0	15	5.2-9.3	2.7-5.6
70	30	17	4.5-17.1	3.9-7.0
50	50	16	6.3-15.8	4.3-7.5
30	70	14	5.0-14.0	4.6-5.8

表—4 ヒノキアルカリ処理抽出液による小松菜の発芽試験

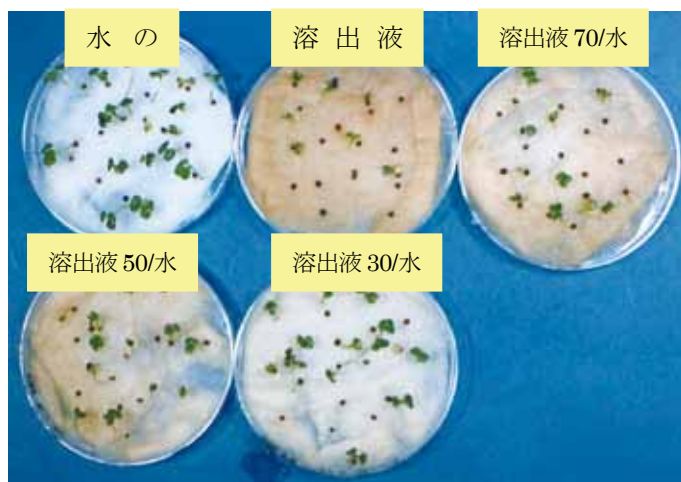
原液	水	発芽数 (個)	茎長さ (mm)	葉の大きさ (mm)
0	100	18	6.6-21.0	5.5-7.7
100	0	7	5.0-8.0	3.2-4.5
70	30	10	4.4-6.2	3.6-5.6
50	50	10	5.2-6.0	4.0-6.5
30	70	15	5.3-8.5	4.6-6.5

表—5 スギアルカリ処理抽出液による小松菜の発芽試験

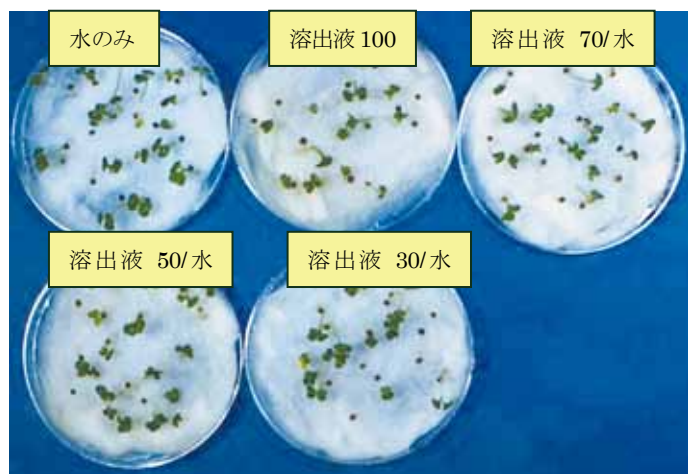
原液	水	発芽数 (個)	茎長さ(mm)	葉の大きさ(mm)
0	100	18	6.6-21.0	5.5-7.7
100	0	7	3.6-5.2	3.6-4.7
70	30	11	5.0-6.5	4.1-5.7
50	50	11	5.8-13.1	4.0-6.4
30	70	14	5.0-17.3	4.2-5.5



図—7 ヒノキアルカリ処理抽出液による小松菜の発芽試験



図—8 スギアルカリ処理抽出液による小松菜の発芽試験



図—6 ヒノキ熱処理抽出液による小松菜の発芽試験



図—9 各種処理液の小松菜根の伸長試験

A:水のみ B:ヒノキ熱処理液 C:ヒノキアルカリ処理液
D:スギアルカリ処理液



図—10 中和液による小松菜の発芽試験($\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1.5g/l
を H_2SO_4 で pH7.2 まで中和した)

3-4-3. 処理おが粉の影響

表—6 は無処理おが粉および処理おが粉を基材とし、ペットフードを微生物の基質として培養した時の細菌数を調べた結果である。細菌の数は培養時間と共に増加しており、使用した基材の中で微生物が生育することが認められる。3-3-2. の結果からヒノキおよびスギの溶出成分が、少なくとも土壌細菌には完全なダメージを与えるものではないことを記述したが、表—6 が示す結果はヒノキ材を生ごみのような有機物を分解する細菌の基材に用いてもほとんど影響を与えないことを示すものである。このことは後に述べる小規模な堆肥化実験の結果とも一致するものである。

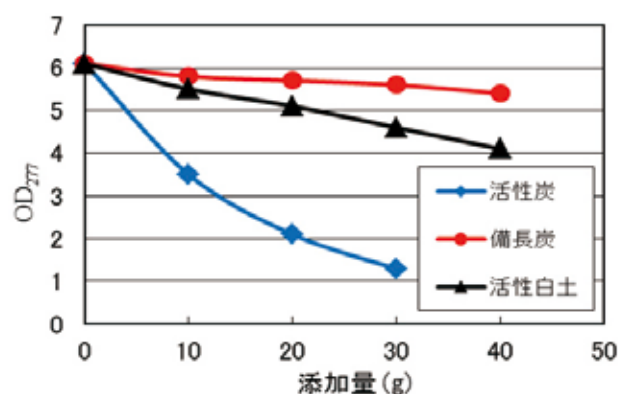
表—6 ヒノキおが粉を基材としたペットフード分解時の細菌数の変化

処理時間 (日)	0	4	7	21
ヒノキ熱処理 菌数 (CFU/g)	1.4×10^8	2.4×10^{10}	1.1×10^{11}	5.3×10^8
(94℃) 含水率 (%)	66.1	68.4	71.8	70
ヒノキオガ粉 菌数 (CFU/g)	1.6×10^8	6.0×10^{11}	2.0×10^{11}	5.8×10^8
無処理 含水率 (%)	63.6	68.4	70.1	70.7
ヒノキオガ粉 菌数 (CFU/g)	1.4×10^8	1.2×10^{12}	9.3×10^{11}	2.2×10^8
アルカリ処理 含水率 (%)	65.6	70.3	70.1	69
スギ 菌数 (CFU/g)	1.4×10^8	1.0×10^{12}	1.1×10^{10}	1.9×10^8
無処理 含水率 (%)	65	70.1	71	72

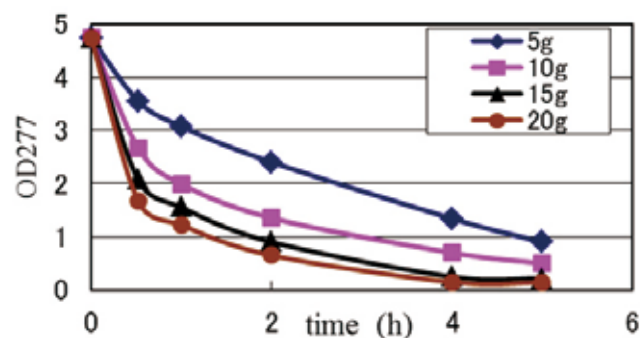
2-5. 溶出阻害物質の吸着処理

熱処理およびアルカリ処理後の液には植物生育阻害物質が溶出・濃縮される。溶出液に阻害物質が濃縮されていくと、おが粉からの阻害物質の溶出が徐々に困難になり、おが粉からの阻害物質の溶出に障害となる。そこで、濃縮された阻害物質を除去することが必要になる。ここでは、活性炭および木炭による吸着処理を検討した。結果を図 11～13 に示す。図—11 はアルカリ処理した液の阻

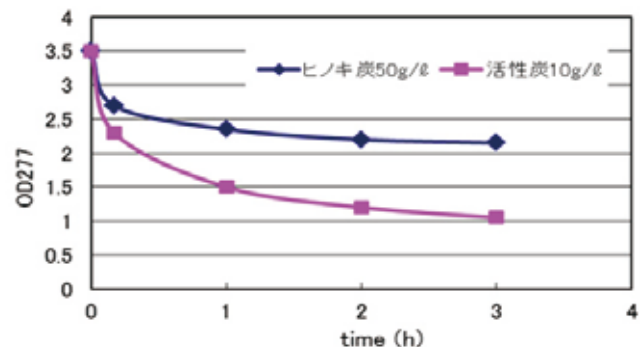
害物質を各種吸着材によって処理した結果を示したものである。この結果が示すように活性炭吸着処理が最も効率の良い方法であることが分かる。さらに、活性炭の添加量を変化させて調べた結果が図—12 である。活性炭の添加量を多くすれば、処理速度が速くなり、使用量が少なくても時間をかけることによって処理効果を上げることが可能である。また、木炭にも吸着能があることから、活性炭と木炭とを比較してみた。その結果を図—13 に示す。結果から、木炭を活性炭の 5 倍量使用しても遙か活性炭には及ばなかった。しかし、活性炭は高価であり、木炭との併用によって処理コストを低減するような方法を検討することも必要と考える。図—14 に活性炭および木炭によって吸着処理した処理水の状態を示す。



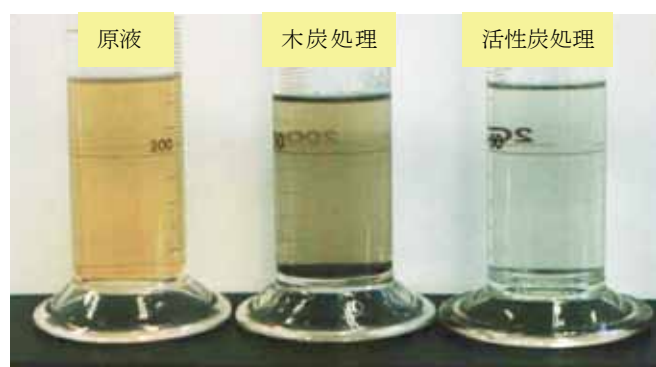
図—11 各種吸着材によるヒノキ抽出液の吸着



図—12 活性炭量を変化させたときの処理時間と OD₂₇₇ との関係



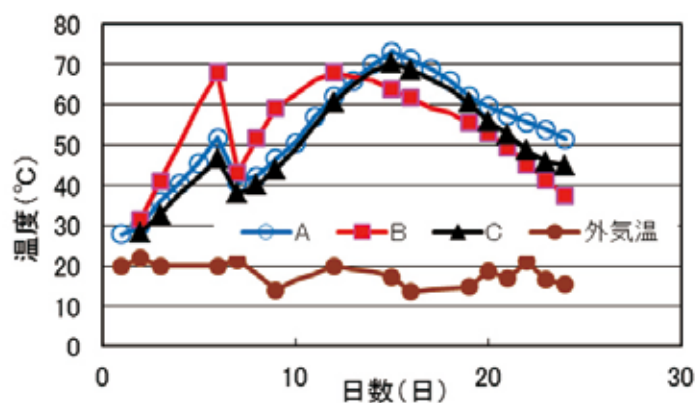
図—13 ヒノキ抽出液の木炭と活性炭による吸着時間と OD₂₇₇ との関係



図—14 木炭と活性炭処理後の色調状態

3-6. 堆肥化実験

アルカリ処理したヒノキおが粉およびヒノキおが粉に生ごみ、牛糞およびエノキ栽培後の菌床廃おが粉を混合して堆肥化実験を試みた。堆肥化の状態を把握する最も重要な指標として堆肥化温度が上げられる。その温度変化を調べた結果を図—15に示す。AおよびCはpH12の液で20時間アルカリ処理した後、硫酸で中和(pH8)したヒノキおが粉を、Bは無処理のヒノキおが粉をそれぞれ使用した。いずれのケースも生ごみ等を添加混合した後、温度が上昇し、Bのケースでは6日後に69.2℃に達した。また、AおよびCについては約2週間後に温度がそれぞれ73.2および70.3℃を記録し、微生物が活発に働いていることが確認された。したがって、当初懸念されたヒノキに含まれる阻害物質の微生物への影響はほとんど認められなかった。

図—15 堆肥化実験における堆肥温度と堆肥時間との関係
(A,B,Cは表—1に示す堆肥原料が異なることを示す)

3-7. 熱処理およびアルカリ処理のコスト比較

ヒノキおが粉から阻害物質を除去するために熱処理およびアルカリ処理について検討したが、これらの薬剤、エネルギーコスト比較を行った。比較は使用水量、ヒノキおが粉量、阻害物質溶出量が同等になる条件で行った。

溶出液の吸着処理および設備動力については今後詰めなければならない問題もあるため比較の対象から除外した。結果を表—7に示した。この結果から、アルカリ処理による方法は熱処理法に比べて約1/2のコストで済むことが推算された。

表—7 アルカリ処理と熱処理におけるコスト

処理方法	アルカリ処理	熱処理
おが粉処理量	2m ³	2m ³
処理時間	16時間	90℃×30分
処理液の量	5m ³	5m ³
Ca(OH) ₂ 量	7.5kg	
処理後のpH	10.4(OD ₂₇₇ =5.2)	
Ca(OH) ₂ の単価	290円/kg	
熱量		90℃に加熱8000kcal/m ³
灯油量		9.5ℓ(灯油の熱量8,424kcal/ℓ)
灯油単価		1544円/18ℓ
コスト計算	7.5kg×290円/kg=2175 円	9.5ℓ×85.7円/ℓ=4070円

4. 要約

4-1. タンニン酸やフェノール物質等の植物生育阻害物質の測定は分光光度計による波長277nmの吸光度を測定することによって測定できることが分かった。

4-2. ヒノキおが粉からの阻害物質の除去法として、熱処理法およびアルカリ処理法いずれもが有効である。除去能力の点ではアルカリ処理法のほうが大きい。

4-3. ヒノキおが粉からの溶出液が微生物および植物に及ぼす影響については、微生物に対してはほとんど影響が認められなかったが、植物に対しては小松菜の発芽試験結果から、熱処理およびアルカリ処理のいずれの溶出液も植物の生育阻害が認められた。

4-4. 溶出液の阻害物質の吸着処理に関しては活性炭処理が効果的である。しかしコストの面から一考を要する。一方、木炭にも活性炭同様、阻害物質の吸着効果が認められるので、コスト低減を図る上でその利用について吟味することも必要である。

4-5. 無処理およびアルカリ処理後のヒノキおが粉を基材として生ごみ、牛糞、エノキ菌床廃おが粉を混合した堆肥化実験の結果、いずれの堆肥化温度も70℃程度に上昇し、良好な堆肥化状態であり、微生物が活発に作用していることが推定された。したがって、有機物を分解する微生物はヒノキおが粉を基材として用いても影響を受けないことが分かった。

引用文献

1) 石井孝昭、門屋一臣：カラタチおよびイネの成長に及ぼすスギならびにヒノキ材中の生育阻害物質について、J.Japan.Soc.Hort.Sci.、62(2)、285-294、1993

撓角法における到達率 $C=0.5$ の実験的検証

永 江 寿 洋¹・福 島 順 一²

¹第一工業大学 学部学生 建築デザイン学科

²第一工業大学 指導教授 建築デザイン学科

(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail: j-fukushima@daiichi-koudai.ac.jp

Experimental inspection of the Carry over factor $C=0.5$ in Slope-deflection method

Toshihiro Nagae¹, Jun-ichi Fukushima²

¹Undergraduate, ²Professor

本研究は、力学公式（撓角法における到達率）の妥当性を曲げ局率試験装置を用いて実験的に確認しようとするもので、同時に、曲げモーメントと局率の関係が比例することを、視覚的に理解させる教材（試験装置）の開発も兼ねている。

昨年度開発の同試験装置を改良し、板バネを用いることでせん断変形成分を除去した新たな試験装置を開発した。同装置を用いて、部材端に与える回転角に大小の幅を持たせて加力を行った結果、概ね力学公式通りの結論を得ることができた。

Key Words : Slope-deflection method, Carry over factor, Bending curvature, Theory of structure

1. 研究の目的

目に見えない応力を模型を使って視覚化することで、応力伝達の基本式を理解することを目的とする。本研究では、扱いの単純な曲げ変形を対象に、曲げモーメントと曲率との関係を模型を使って明らかにすることにした。

まず、部材に外力を与えると変形するが、変形が生ずる直接的な要因は部材内部に生ずる微小変形であり、この微小変形が部材全長に亘って積分されて全体変形となる。この様な荷重と変形の関係は、与条件（荷重の大きさや方向）と現象（部材の変形状態など）がそれぞれ目で確認できる点で直感的であり理解が得られ易い。

一方、撓角法に示す到達率（ $C=0.5$ ）とは、与えたモーメントの $1/2$ が常に固定端に伝達されることを示すが、その妥当性を目視で直接確認することは出来ない。また、到達率は部材の剛度や与える曲げモーメントの大小とは無関係で

あることも、目視では確認できない。この様に、直接確認できない事柄であっても、模型を用いた変形測定によって、間接的にこれらの妥当性を確認することは可能である。

本研究は、以上の考えから既往の考え（公式）の妥当性を曲げ曲率試験装置を使って実験的に確認するもので、かつ、曲率の変化が視覚的に理解できる教材の開発も目的にしている。

2. 試験装置の改良

昨年度は図-1 の試験装置を製作し曲げ試験を行ったが、頂部に回転を与えるとバネ部にせん断変形が生じ、理論値に対して誤差が大きくなった。そこで、昨年度の実験結果を踏まえて試験装置に改良を加え、改めて「曲げモーメントー曲率」の関係を実験的に検証することにした。実験装置はせん断変形が生じないように、板バネを用いた装置（図-2）を新たに製作した。

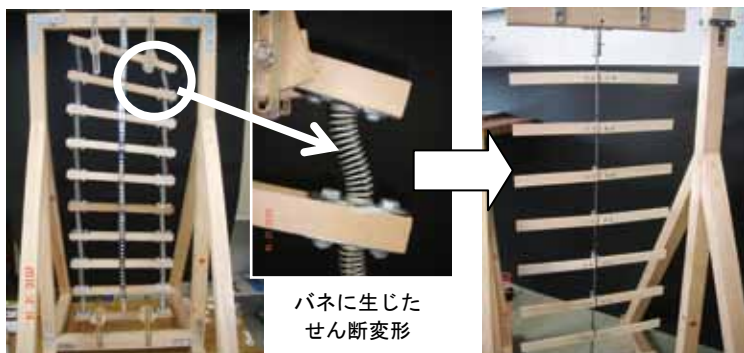


図-1 試験装置(昨年度)

図-2 改良試験装置

3. 検証する撓角法基本式

図-3 に示す様に、部材 AB の両端に正曲げモーメント（ M_{AB}, M_{BA} ）を与えた結果、部材に変形が生じたとする。この時、部材端の回転角と部材角、および外力として与えた曲げモーメントとの関係は(1)式で表される。これがいわゆる撓角法基本式である。

ここで、この基本式において部材角が生じないとすれば、(1)式は(2)式のように表される。

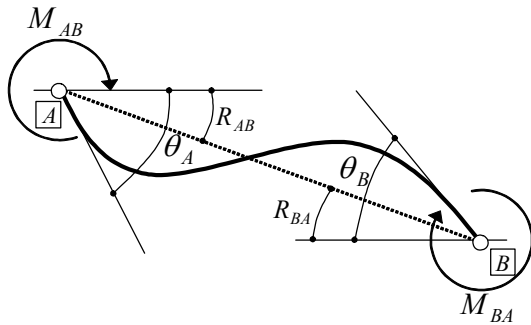


図-3 部材端に与えた曲げモーメントと変形角の関係（撓角法基本式）

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= 2EK_o k(2\theta_A + \theta_B - 3R_{AB}) \\ M_{BA} &= 2EK_o k(\theta_A + 2\theta_B - 3R_{BA}) \end{aligned} \right\} \dots (1) \text{式}$$

$R_{AB} = R_{BA} = 0$ であるから

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= 2EK_o k(2\theta_A + \theta_B) \\ M_{BA} &= 2EK_o k(\theta_A + 2\theta_B) \end{aligned} \right\} \dots (2) \text{式}$$

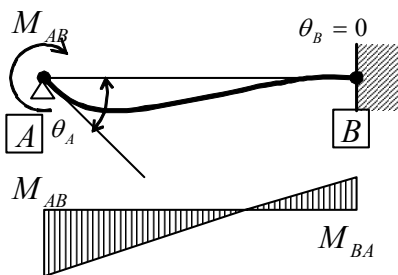


図-4 対象とする梁モデル

さてここで、図-4 に示す様にA端をピン支承・B端を固定とした梁モデルを考え、この梁モデルのA端に外力として曲げモーメント(M_{AB})を与えた場合、B端に生ずる曲げモーメント(M_{BA})を(2)式から導く。

図-4 から、B端は固定端であるから回転角は生じない。 $\theta_B = 0$ である。この関係を(2)式に代入して左右端のモーメント比で表せば、(3)式を得る。

$$\frac{M_{BA}}{M_{AB}} = \frac{2EK_o k(\theta_A)}{2EK_o k(2\theta_A)} = \frac{1}{2} \dots (3) \text{式}$$

即ち、ピン端に与えた曲げモーメント(M_{AB})の半分(1/2)が、材の剛度(硬さ)とは関係なく固定端に伝達されることを(3)式は示している。これを撓角法では到達率(Carry over factor)と定義している。

本研究はこの到達率を模型実験で確認しようとするもので、材端に回転角を与えて生ずる曲率の変化から、到達率を検証するものである。曲げ曲率模型の原理を次に述べる。

4. 曲げ曲率模型の原理

4-1 曲率と曲げモーメントとの関係

図-5 に示す様に、矩形断面の中立軸を一本の線で表した梁ABを考え、この線上の任意の位置を「C点」とする。そして、この「C点」から微小距離 dx はなれた点を「D点」とすれば、「C点とD点」を結ぶ曲線は、「O点」を中心とする円弧に重なることを考える。そして、線「O-C」と線「O-D」の長さ(半径に相当)を ρ 、両線のなす角度を $d\theta$ とする。図-6 はこのC-Dの微小区間を取り出して拡大した図である。

比例関係を用いれば、中立軸から任意位置(y)における断面の歪み度は(4)式で表され、この時の応力度は(5)式で表される。

また、中立軸に関するモーメントの釣合から(6)式が得られ、幾何学的関係から曲率半径(ρ)と断面の回転角($d\theta$)の関係は(7)式で表される。

即ち、(6)式と(7)式を用いて整理すると、モーメントと曲率の関係は(8)式で表されることになる。

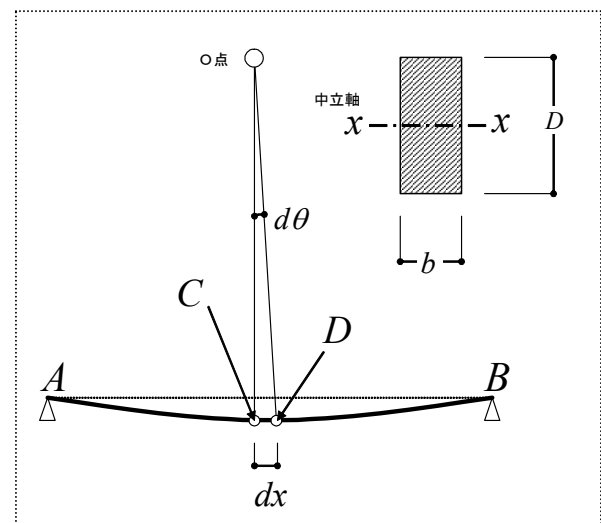


図-5 曲げモーメントを受ける梁の変形

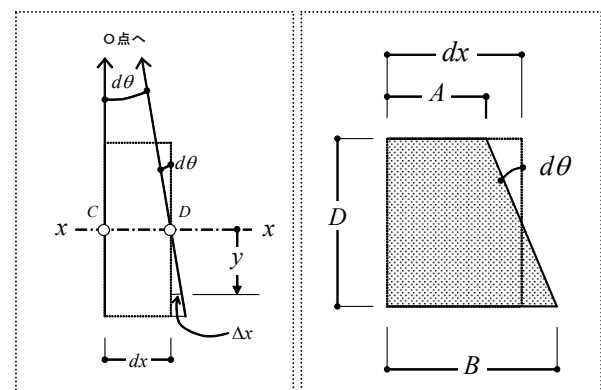


図-6 断面の歪み状態
(線OCを基準にして線ODの傾き状態を考える。)

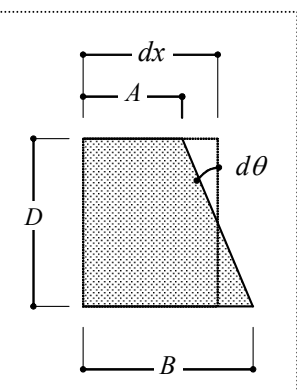


図-7 局率模型における測定
(A, B寸法と傾き($d\theta$)の関係)

$$\Delta x = \frac{dx}{\rho} y, \varepsilon = \frac{\Delta x}{dx} = \frac{y}{\rho} \quad \dots (4) \text{式}$$

$$\sigma = E \times \varepsilon = E \times \frac{y}{\rho} \quad \dots (5) \text{式}$$

$$M_x = \int_A \sigma_y y dA = \frac{E}{\rho} \int_A y^2 dA = \frac{E}{\rho} \times I \quad \dots (6) \text{式}$$

$$d\theta = \frac{dx}{\rho} \quad \dots (7) \text{式}$$

$$M_x = \frac{E \times I}{\rho} = E \times I \times \frac{d\theta}{dx} \quad \dots (8) \text{式}$$

ここで、図-6 を拡大した図-7 を用いて、曲率と曲げモーメントの関係を説明する。図-7 は、曲げモーメントによって断面に傾き ($d\theta$) が生じた梁の、任意位置の断面を切り出した状態を表す。

図中の「 A 、 B 」は、それぞれ曲率模型に外力を与えた時の上端と下端の「縮み量・伸び量」の計測値と仮定すると、断面の傾き ($d\theta$) はこの計測値を用いて(9)式で表され、この関係を(8)式に代入すれば、任意位置におけるモーメント (M_x) と断面の傾きとの関係は(10)式から得ることができる。

$$d\theta = \frac{B - A}{D} \quad \dots (9) \text{式}$$

$$M_x = E \times I \times \frac{d\theta}{dx} = \frac{E \times I}{dx} \times \frac{B - A}{D} \quad \dots (10) \text{式}$$

4-2 曲率測定の方法

前項(10)式で用いる符号は以下の通り。

E : 梁部材のヤング率,

I : 梁部材の断面二次モーメント, D : 梁せい

上記符号の諸元は一台の梁部材では変化せずに共通であるから、定数 ($K=1.0$) として扱えば、(10)式は(11)式として簡単な測定評価式に置き換えることができる。

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{EI}{d_x} \times \frac{B - A}{D} = \frac{EI}{D} \times \frac{B - A}{d_x} \\ &= K \times \frac{B - A}{d_x} = \frac{B - A}{d_x} \quad \dots (11) \text{式} \end{aligned}$$

ここで、実際の試験装置は正確な長方形ではなく、図-9 に示す様に A 側と B 側の寸法が異なる ($A_0 \neq B_0$) ために、単純に(11)式を適用すると誤差が大きくなる。そこで、測定結果を次の手順で補正した(12)式を用いることにした。

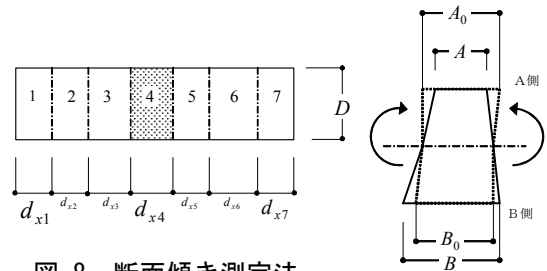


図-8 断面傾き測定法

図-9 実際の要素形状

$$d_x = (A_0 + B_0) / 2$$

$$A' = A - A_0 + d_x, B' = B - B_0 + d_x$$

$$A' - B' = (A - B) - (A_0 - B_0)$$

$$\text{よって、} M_i = (A' - B') / d_x \quad \dots (12) \text{式}$$

また、実験結果の表示は、モーメント分布を加力端を基準(1.0)とする比率で表した方が、他の実験結果との比較が容易である。そこで、(12)式で求めた各要素の実験結果を、全て加力端の値で除した値で表すことにした。

5. 試験方法と測定方法

5-1 試験方法

図-2 の改良試験装置を用いて予備実験を行ったが、理論値に一致しないことが分かった。その原因の一つに「大変形に伴う軸縮み」が考えられた。図-10 はその状態を示したもので、この様な大回転角を与えた場合、試験装置枠の上下で板バネを拘束していると軸縮みが拘束され正確な曲率は生じない。よって、板バネは試験装置枠から外して、軸伸縮を拘束しないようにする必要があった。

もう一つは、板バネの「固定金物の影響」である。図-11 に示す様に板バネをL型の取り付け金物で枠木に固定してあるが、この固定金物が「剛域」となって曲げ変形を拘束していることが分かった。そこで、板バネを取り付けている上下の拘束部分は試験装置から除外することにした。よって、当初は9要素間の曲率を測定していたが、以上の判断から上下端部の2要素を除いて、7要素間の測定とすることにした。



図-10 材軸の縮み



図-11 端部拘束

5-2 測定方法

前述の検討から板バネは試験装置枠から取り外し、テーブル上に載せて水平にして加力することにした。また、上下端の要素は取り付け金具による剛域の影響を考慮して、測定要素から除外した。図-12 にその状況を示す。

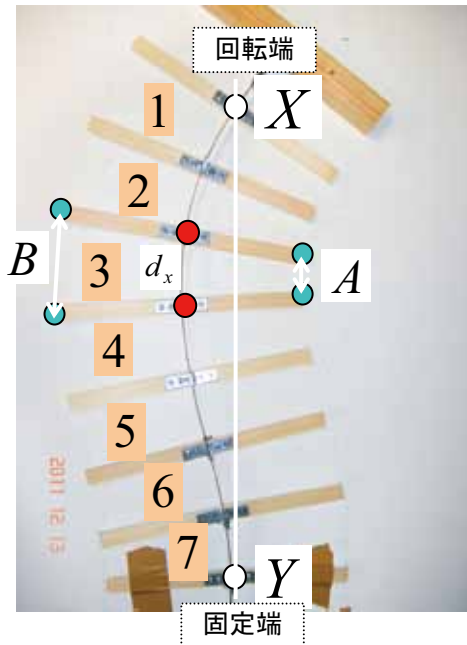


図-12 測定方法

加力および測定の方法を図-12 で説明する。

- 「X点位置」がXY軸上からずれないように回転角を与える。
- ①～⑦は要素番号を示す。加力後、各要素のA寸法・B寸法を測定する。この時、下敷き紙に変形位置を鉛筆でマーキングしておき、このマーキング間寸法をスケールで測定する。
- 中央部の d_x は、加力前のA寸法・B寸法の平均値とする。
- 各要素が変形する時、下敷き紙との摩擦によって正確な変形が生じにくい。適宜、各要素に振動を与えながら僅かな軸力を加える。

6. 実験結果および考察

X端に与える回転角の大きさをランダムに変化させ、同一の測定を10回行った結果を図-13に示す。

同図は、加力端のモーメントを基準(1.0)とした時のモーメント分布を表す。理論値では固定端のモーメント比は0.5となり、実験結果も概ね理論値に近似していることが分かった。

なお、モーメントの分布形が理論値と比較してやや膨らんだ形になっているが、この理由は $P-\delta$ 効果による付加曲げモーメントが影響していると思われる。

即ち、強制曲げを受けると板バネは全長が短くなるが、この時、下敷き紙との摩擦抵抗によって軸縮み拘束される。この摩擦抵抗を解除するために、僅かな軸力を与えて実験を行ったことが原因と思われる。摩擦抵抗に負けない曲げ剛性の大きい板バネを用いる必要がある。

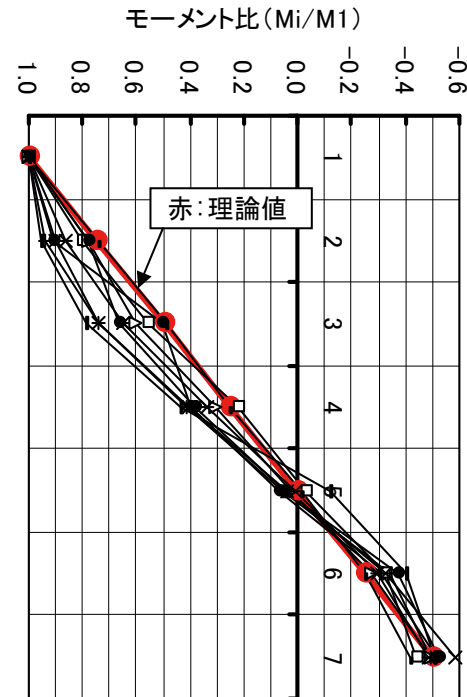


図-13 実験結果(10 ケースを併記)

6. まとめ

板バネを用いた改良型曲率試験装置を製作し、強制曲げ実験を行った。その結果、ほぼ次のことが分かった。

- 回転角を任意に変化させて10ケースの加力試験を行い、撓角法公式(到達率 $C=0.5$)を実験的に確認することができた。
- 曲げモーメントの大小は曲率の大小に比例することを視覚的に理解することができた。
- 大変形を与えると板バネ全長が縮むため、枠フレームから板バネを外して平置きで実験を行った。そのため、下敷き紙と板バネ間に摩擦抵抗が生じ、その抵抗を解除するための微振動操作が実験結果に誤差を生じさせた。今後、剛性の高い板バネを用いるなど、試験装置の改良が必要と思われる。

【参考・引用文献】

- 平成22年度第一工大卒業論文、曲げ局率模型の制作と実験、川上直秀・手塚尚紀
- 建築構造力学、村内 明、2006年8月、理工図書

【謝辞】終始暖かいご指導と励ましを頂いた福島先生に、心から御礼を申し上げます。また、試験装置作成にご協力を頂いた研究室同期に、御礼を申し上げます。

第一工業大学建替え計画

半 田 潤 生¹・根 本 修 平²

¹第一工業大学 学部学生 建築デザイン学科

²第一工業大学 講師 建築デザイン学科

Rebuild Daiichi Institute of Technology

Junki HANADA, Shuhei NOMOTO

鹿児島県内の大学の外部動線と本学の講義室の利用状況の調査と分析をおこない、その成果をもとに、地域社会へ開かれた次世代の大学キャンパスを提案した。

Key Words : Campus planning, External flow planning, Utilization, Layered activity

1. 研究の背景

移動の動線が長い、規模が不適切である、歩車分離されていないなど、日常の大学生活で小さな不便や疑問を持ったことがきっかけで大学のキャンパスという環境に関心を持った。

キャンパス計画時の図面を資料に、現況を概観すると、各棟の建設年だけでなく建設されていない建物もあることがわかった。このことから、キャンパスをどのような環境にするという目的や方針を明確にせず、その時の状況に応じて、いわば場当たりの整備されたことが指摘され、その結果が現在みられる動線の不整合などに現れたと考えられる。

2. 研究の目的

そこで本稿では、1) キャンパス内の外部動線に着目し、鹿児島県内の大学を調査し、外部動線の構成的特徴について考察、2) 効率的な講義室運用という観点から、小規模大学における適切な施設規模の算定も併せて検討し、得られた知見をもとに本学の建替えを提案した。

3-1. 外部動線に関する調査と分析

県内9大学を対象として、配置図を蒐集し^{※1}、敷地内から建物までの動線を簡略化した模式図を作成し、人と車の動線を基準として、分類した(図1)。

3-2. 外部動線に関する考察

歩車の動線を分離しやすいタイプとしては、外周タイプ、基盤タイプ、人動線限定タイプが

挙げられる。外周タイプは、中規模から大規模の敷地へ採用されることが多く、基盤タイプは、動線で空間を細かく区切るため、大規模な敷地でなければ採用することは難しい。また人動線限定タイプは完全に歩行者と車の動線を分けられるものの、小規模の敷地でなければ採用が難しく、非常時の車の搬入にも問題がある。

各施設へ車が接近しやすく、搬入が容易な外周タイプは、動線が重なる部分が少ないため、接道面が少なく入口を複数設けにくい敷地にも採用しやすいことがわかる。

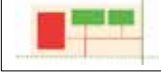
模式図	類型	特徴	該当する大学
	外周タイプ	外周上に主要動線を配置し、その内側に建物を配置する。	鹿屋体育大学 鹿児島純心女子大学 鹿児島国際大学
	中心線タイプ	中央に主要動線を配置し、そこから各動線を分岐させる。	志学館大学 鹿児島県立短期大学 鹿児島純心女子短期大学 第一工業大学
	基盤タイプ	動線を基盤の目のように張り巡らせる。	鹿児島大学
	人動線限定タイプ	敷地内に駐車場を設けず、基本的に車の進入をさせない。	鹿児島女子短期大学

図1 動線計画の類型

4-1. 講義室の利用率調査

現在は、利用頻度の高い講義室と低い講義室が混在している。このような状況の原因を特定するため、講義室の利用率について調査した^{※2}。調査の結果を教室の概略図と円グラフを用いて表した(図2)。円グラフの大きさは利用回数の多さを表し、割合は各学科の利用回数を合計利用回数で除して求めた。

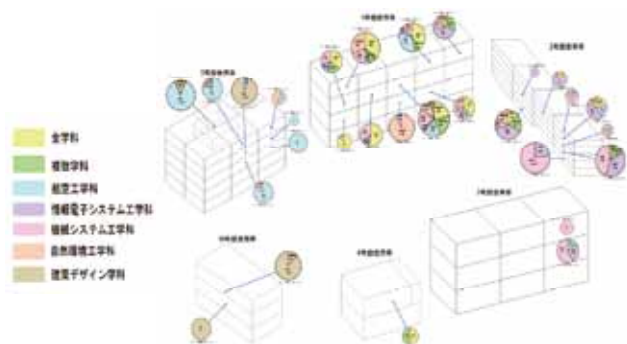


図2 建替前教室利用率

4-2. 利用率に関する考察

現在の本学には、各学科が専用する利用率の低い講義室が多く存在することが分かった。専用教室は、一般教養科目で使用する講義室とは別に設けられているため、室数の増加や利用率の不均一を生む主要原因となっている。

5-1. 提案のコンセプト

これらの調査を通して、本学の現状とその問題点がより明確になる成果を得ることができた。

そこで建て替え計画案では、1) 効率良く講義室が利用できるコンパクトなキャンパス空間を整備し、2) 昨今の学生減少に対応する施策として一定の成果が得られている生涯学習社会を実現するための学習環境^{※3}をキャンパス内に設けることとした。大学が有する人的（教員や学生）・物的（施設や設備）・知的（図書資料や文化資産）資源を学外へ提供し、地域の社会資産として位置づけるために、キャンパス空間を積極的に地域に開放する計画である（図3）。

5-2. 敷地について

霧島市の道路整備計画では^{※4}、現在の第一幼稚園付近に、線路を横断する道路が計画されている。この道路が完成した場合、前面道路の交通量が増加し、国道60号線を中心とした商業地域のさらなる活性化が見込まれることから、大学周辺やキャンパスに立ち寄りやすい環境の形成が想定される。そのため本計画では、道路整備後の敷地で計画することとした。

5-3. 配置計画

前項までの考察をもとに、歩車を分離して安全性を確保し、利用しやすい動線計画とするため、接道面が少ない敷地に適当な「外周タイプ」を外部動線に採用した（図4）。

前面道路からキャンパス内部の様子が窺い知れ、訪れる人を導きやすい正面広場を前面道路に面して設け、イベントスペースとして活用し、外部とのつながりを促進させる（図3）。

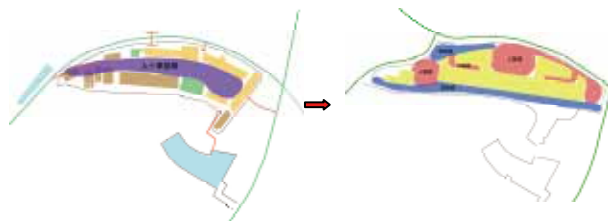


図4 外部動線の比較

5-4. 平面計画

出入口と動線が集中する1階は、さまざまな人が自由に利用できる開かれた空間とした（図5）。学生や教職員、来校者それぞれの活動が重なる部分に、相互のコミュニケーションを図るラウンジ空間を設け、交流を通じた一体感が醸成される平面構成とした（図6）。

前面道路に面する場所には、来校者も多く利用する図書館や食堂などを配置し、道路に対して奥になる山側には、学生と教員など特定の人が使用する講義室や研究室を設け、利用者を基準として層状に配置した。また事務管理などの諸室を施設内に分散的に配置することで、動線の偏りがうまれないように工夫した。

2階には、主に学生やゼミで利用する空間や憩いの場所をまとめた（図5）。1階ラウンジと吹抜けを通して一体的につなぐことで、上下階の活動を緩やかにつなげるように工夫した（図7）。

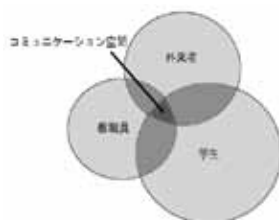


図6 活動空間の重なり



図7 ラウンジを見下ろす

6. まとめ

近年、地方私立大学を中心に学生数減少の問題が深刻化している。この問題に対し、大学開放が一定の成果を上げているが、大規模な大学開放を行う場合、そのための施設、空間が要求される。しかし敷地には限度があるため、これらに対応するスペースを確保するためには、従来の施設の利用状況を見直し、施設の効率化を行うことが重要となる。また、歩車分離は、簡潔な動線計画を採用することで、安全で利用しやすい大学として、増加する一般利用者に対応することができる。

※1 各大学が公開しているキャンパス案内図や自治体の発行する住宅地図など

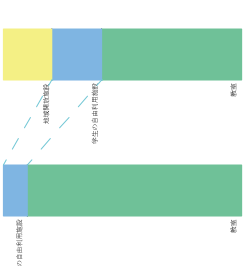
※2 平成23年度の時間割を元に調査

※3 地域社会に対する大学開放の在り方、高井寛

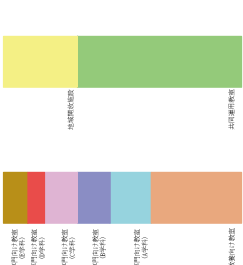
※4 霧島市用途地域図に記載、2011年8月7日



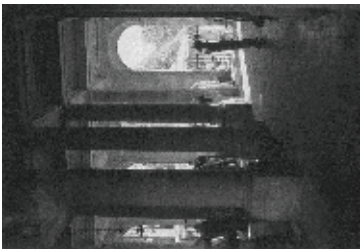
閉領域から開領域へ 一地域へ戻る大学へ



講義の合間の休憩時間、ゆつくりと自習をしたい時。そんな時に学生が自由に利用できる部屋があると便利である。そこで学生が自由に利用できる施設を併設し、気軽に立ち寄れるキャンパスとする。



講義の合間の休憩時間、ゆつくりと自習をしたい時。そんな時に学生が自由に利用できる部屋があると便利である。そこで学生が自由に利用できる施設を併設し、気軽に立ち寄れるキャンパスとする。



ベレ・ロワイヤルの言葉でオベラを遊ぶ女性。通りがかりの人々は立ち止まり、そのまわりに集い、歓声に響き入る。

コンセプト
今日、大学は、その多様化する活動に必要な建物群に集合体としての秩序を与えるため、閉領域を形成するようになった。それは、空間を管理するという点においては有効な手段であったが、明確な境界を作り、領域を閉じること、地域の一部であった大学は、地域から分離・孤立してきてきた。しかし、そもそも大学が生まれたとき、大学に専用の建物が必要とれていなかった。教師と学生が集まればそれは大学であり、集まった場所が大学空間であった。それはつまり人の集まりやすい空間に自然と大学空間が生まれたことを意味する。

そこで本計画は、人が集まる空間を作り、大学機能を付随させ、多くの人が集まる開かれた大学空間を設計した。

図3 設計提案図1

技術・家庭科教育の過去から未来を見る。(調査研究)

中 蘭 政 彦

第一工業大学講師 共通教育センター (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)
E-mail: m-nakazono@daiichi-koudai.ac.jp

The prospect of future education through the past educational practices of the Technical and Homemaking Course

— The actual situation and the future of the school with full enforcement of the new course of study —

The point of the revision of the course of study in 2008 was to cut down the total number of lessons more extremely than before. The new course of study will be enforced in 2012. Nowadays, I wonder what the teachers think about this and how they are trying to face the problem.

Therefore, I carried out a survey of this matter throughout all Kyushu junior high school study meetings for the Technical and Homemaking Course.

In this report, I would like to analyze the results and find out what the problem is. Then the results will show us the direction at which we should aim.

Key words : *Technical and Homemaking Course The new course of study the problem*

1 技術・家庭科教育の過去から

1. 1 はじめに

今回の学習指導要領の改訂において大きく授業時数が削減され、更に「選択の時間」まで削られてしまった。昭和33年時指導していた時数に比べて28%にまで削減されたことになる。(選択を含まず技術の指導内容のみ) 技術・家庭科を愛する者の一人として、このままでいいのだろうかと忸怩たる思いをしているのは私だけだろうか？

「生きる力」の育成のための「総合的な学習の時間」が縮減された。その分、授業時数を増やした教科で、つまづきやすい内容の繰り返し学習や観察・実験・レポートの作成、論述等を扱い、基礎的・基本的内容の定着と学習した内容を応用発展する力の育成を図ることになったのである。

それでは、実質授業時数を減らされた技術・家庭科には何を期待しているのか、日本の社会や若者に目を向けると、日本の主幹産業は「ものづくり」である。製品を造り、輸出して、外貨を稼ぎ、豊かになっ

てきた。しかし、これらの産業や経済の構造が変化し、雇用の多様化・流動化が問題になるとともに、「ものづくり日本」が新興国に追い上げられて黄色信号が点ってきている。

一方、若者は、モラトリアム傾向が進行し、フリーターやニートなど目的意識のない進学などが目立ってきている。これらの解決のために、キャリア教育を学校や地域社会で行う必要がでてきたのである。

このようにキャリア教育の必要性が叫ばれているが、技術・家庭科の指導は過去(特に、昭和22年度から平成4年度まで)において、啓発的職業体験の内容を担ってきた部分がある。

例えば、「機械」のエンジンの学習をとおして、エンジニアになろうと志したり、また、「栽培」の学習をとおして、バイオの道を目ざしたり、「被服」の学習が服飾関係の仕事への興味を喚起したりなど…、内容と時数が確保され充実していたと思われる。ところが、平成10年の学習指導要領改訂からは、新学習指導要領の内容は、男女共修と授業時数の削

減にともない、技術と家庭で二分すると 87.5 時間となった。指導内容は浅く、薄くなってきている（広くではない）。

油まみれ、泥まみれ、手と頭を使い、汗をかきながら苦勞して一つの製品や作品を作り上げるといった過程を体験することにより、勤勞観や職業観を身体で覚える機会があったと思われる。（ロボコンや

ものづくりを「選択の授業」が担っていた。）しかし、現在、「選択の授業」もなくなり、技術・家庭科は、キャリア教育の一部を担うことも困難な現状であると思われる。「ものづくりは人づくり、人づくりは国づくり」のキャッチフレーズの実現のために技術・家庭科（時数及び内容）の充実が必要不可欠であると考えるが言い過ぎだろうか。

1. 2 技術・家庭科の変遷 1

※年代は全面実施の年

名 称	年 代	目 標 ・ 性 格	内 容	年 間 時 数
職 業 科	昭和22～25年	職業に関する経験	農業科，工業科，商業科，水産科， 家庭科の5教科から学校によって1 ～複数教科設定	必修 140 選択 35～140
職業・家庭科	昭和26～31年	より広い職業や家庭 に関する経験	1 類 栽培，飼育，漁，食品加工 2 類 手技工作，機械操作，製図 3 類 文書事務，経営記帳，計算 4 類 調理，衛生保育	必修 105～140 選択 105～140
職業・家庭科	昭和32～36年	実生活に役立つ職業 に関する知識技能の 修得	1 群 農業 4 群 水産 2 群 工業 5 群 家庭 3 群 商業 6 群 職業指導 ※ 4 群を除き各群35時間ずつ ※ 必修＋選択で175時間以上	必修 105～140 選択 105～140
技術・家庭科 33年改定	昭和37～46年	生活に必要な基礎的 知識技能，態度の育 成，近代技術に関す る知識の習得	男子向き 設計製図，木材加工，金属加工 機械，電気，栽培，総合実習 女子向き 設計製図，家庭工作，家庭機械 調理，被服製作，保育	必修 105 選択 1・2年 35 3 年 140 (農，工，商， 水，家) 英語
技術・家庭科 44年改訂	昭和47～55年	生活に必要な基礎的 知識技能，態度の育 成，体験的学習の必 要性	男子向き 製図，木材加工，金属加工 機械，電気，栽培 女子向き 被服，食物，住居，家庭機械 被服製作，保育 選択 (農，工，商，水，家) 英語	必修 1年 105 2年 105 3年 105 選択 1・2年 35 3 年 105
技術・家庭科 52年改訂	昭和56～ 平成 4 年	生活に必要な技術を 実践的・体験的な学 習を通して習得する	技術系列 木材加工，金属加工， 機械，電気，栽培， 家庭系列 被服，食物，住居，保育 ※9領域の中から1領域以上を相互乗 り入れによる履修をする	必修 1年 70 2年 70 3年 105 選択 3年 35

技術・家庭科 元年改訂	平成5～13年	生活に必要な技術を習得し、生活に生かす	<u>木材加工</u> 、 <u>電気</u> 、金属加工、機械、栽培、情報基礎、 <u>家庭生活</u> 、 <u>食物</u> 、被服、保育、住居 11領域の中から下線の4領域が全生徒必修となり他は生徒の興味関心に応じて合わせて7領域以上を履修する	必修 1年 70 2年 70 3年 70 ～105 選択 2年 35 3年 70
技術・家庭科 10年改定	平成14～23年	生活と技術とのかかわりについて理解を深め、 <u>進んで生活を工夫し創造する能力と実践的な態度を育てる</u>	A「技術とものづくり」 1～4 B「情報とコンピュータ」 1～4 A「生活の自立と衣食住」 1～4 B「家族と家庭生活」 1～4 の4領域と1～4を男女共に必修となる。技術系列、家庭系列ともに35・35・17時間と激減 選択「技・家」で内容5・6を扱うことができる。	必修 1年 70 2年 70 3年 35 選択 2年 35 3年 70
技術・家庭科 20年改訂	平成24～	生活に必要な <u>基礎的・基本的知識及び技術の習得</u> を通して、生活と技術のかかわりについて理解を深め、進んで生活を工夫し創造する能力と実践的な態度を育てる	A 材料と加工に関する技術 B エネルギー変換に関する技術 C 生物育成に関する技術 D 情報に関する技術 A 家族・家庭と子どもの成長 B 食生活と自立 C 衣生活・住生活と自立 D 身近な消費生活と環境 これらの八つの内容が男女共に必修となり、70・70・35時間で履修させることになる。	必修 1年 70 2年 70 3年 35 選択 0

「鹿児島県中学校技術・家庭科教育研究会のあゆみ－沿革史－」より

1. 3 技術・家庭科の歴史に見る授業時数の極端な減少

昭和33年改訂

中学校学習指導要領において「技術・家庭」は同じ時間帯に男女別々に履修する別学

1年 2年 3年

男子向き 105, 105, 105 = 315時間……技術の教師が技術の内容を指導する時間
 女子向き 105, 105, 105 = 315時間……家庭の教師が家庭の内容を指導する時間

昭和44年改訂

1年 2年 3年

男子向き 105, 105, 105 = 315時間……技術の教師が技術の内容を指導する時間
 女子向き 105, 105, 105 = 315時間……家庭の教師が家庭の内容を指導する時間

昭和52年改訂

1年 2年 3年

技術系列	70, 70, 105 = 245時間……技術の教師が技術の内容を指導する時間
家庭系列	70, 70, 105 = 245時間……家庭の教師が家庭の内容を指導する時間

※ 技術系列の1領域, 家庭系列の1領域を相互乗り入れする。

例えば, 技術の教師が女子に「木材加工」を指導して, その間に家庭の教師が男子に「食物」の指導をしていた。よって, 技術系列, 家庭系列の内容の指導はそれぞれ **210 ~ 225 時間**あった。

平成元年改訂

1年 2年 3年

技術系列	35, 35, 105 = 175時間 …… 技術の教師が技術の内容を指導する時間
家庭系列	35, 35, 105 = 175時間 …… 家庭の教師が家庭の内容を指導する時間

※ 1・2年は男女共, 「木材加工」「家庭生活」「電気」「食物」が必修, 3年では, 他の3領域を生徒の興味・関心に応じて, 技術と家庭の教師がそれぞれ指導していた。この時に「情報基礎」が新しく入ってきた。

一般的な履修は, 技術の教師が「木材加工 35h」「電気 35h」「機械 35h」「金属加工 20h」「栽培 20h」「情報基礎 30h」の内容を合計 175 時間で指導をしていた。家庭の教師は「家庭生活 35h」「食物 35h」「被服 35h」「保育 35h」「住居 35h」の内容を合計 175 時間で指導をしていた。

平成10年改訂

1年 2年 3年

技術分野	35, 35, 17.5 = 87.5時間 …… 技術の教師が技術の内容を指導
家庭分野	35, 35, 17.5 = 87.5時間 …… 家庭の教師が家庭の内容を指導

※ 男女共学となり, 技術分野, 家庭分野のいずれかに偏ることなく履修させることとなった。

一般的な履修は, 技術分野では「技術とものづくり」「情報とコンピュータ」で 70 時間, 3 年では 内容選択で 17.5 時間, 合計 87.5 時間を技術の教師が指導することとなった。家庭分野では「生活の自立と衣食住」「家族と家庭生活」3 年では内容選択で 17.5 時間, 合計 87.5 時間を家庭科の教師が指導することとなった。33 年, 44 年の改訂に比べて指導時数は **28%** (87.5 / 315) になったことになる。

※ しかし, 「選択の授業」が 2・3 年で 1 時間ずつあり, 技術・家庭科に興味のある一部の生徒に指導する機会があった。この時間に「ロボコン」の指導が盛んに行われた。

平成20年改訂

1年 2年 3年

技術分野	35, 35, 17.5 = 87.5時間 …… 技術の教師が技術の内容を指導
家庭分野	35, 35, 17.5 = 87.5時間 …… 家庭の教師が家庭の内容を指導

※ 「A 材料と加工に関する技術」「B エネルギー変換に関する技術」「C 生物育成に関する技術」

「D 情報に関する技術」に再編され, 10 年改訂では選択の内容であったものも全て必修とした。指導時数は変わらないから, 「広く浅く」走らなければ指導できないのではないと思われる。

家庭分野は「A 家族・家庭と子どもの成長」「B 食生活と自立」「C 衣生活・住生活と自立」「D 身近な消費生活と環境」に再編された。「選択の授業」がなくなったので実質は **28%以下**となる。

1. 4 技術の教師が「技術」の内容を指導する時数の推移

	昭和 33年 改訂	昭和 44年 改訂	昭和 52年 改訂	平成 元年 改訂	平成 10年 改訂	平成 20年 改訂
指導時数 (時間)	315	315	245	175	87.5	87.5
33年を100 とした 時数の変化	100	100	77.8	55.6	27.8	27.8

1. 5 「選択の時間」で技術の内容を指導できる可能時数の推移

学習指導 要 領	昭和 33年 改訂	昭和 44年 改訂	昭和 52年 改訂	平成 元年 改訂	平成 10年 改訂	平成 20年 改訂
選択時数 (時間)	105	105	35	70	70	0

昭和 33 年改訂時の指導時数を 100 とした場合それぞれの改訂時の指導時数の変化を見てみると表 1. 4 のようになる。平成 10 年と平成 20 年改訂では 27.8 となり、昭和 33 年当時の 3 分の 1 以下の指導時数となっていることが分かる。「技術科教育のカリキュラムの改善に関する研究－歴史の変遷と国際比較－」国立教育政策研究所 平成 13 年 3 月」を引用すると、「・・・このような時数の削減は、製作などの実習をとともう内容である技術の教育にとって、教育内容に深刻な打撃を与えている。作業内容の科学的な根拠から具体的な活動までを 1 時間単位で行うことは教室で知識を教える授業とは違って、準備、運営も含めて非常に難しくした。この改訂（平成 10 年）は、「ものづくり」の結果、作品をつくることばかりに眼を向けて、その教育上の過程で獲得する様々な人間的な能力を無視したものになっている。」(略)・・・平成 20 年の改訂では、「選択の時間」が 0 となり、さらに指導時数が削減されたことになる。(下線部 中藺)

1. 6 小・中・高の学習指導要領－男女共修の変遷について－

小学校の家庭科は教育制度発足以来、一貫して男女共修、中学校は平成 4 年度まで、男女の特性に応じて選択（必修）、高校は選択履修科目として扱われた。中学校では科学技術の進展に伴い、男子は生産技術を、女子は家庭生活技術を学習してきた。高

等学校では女子は家庭科を履修し、その間男子は体育などを履修していた。これは男女教育の機会均等や「女子差別撤廃条約」の批准等の歴史の中で、教育においても男女平等が保障されなければならないとの見解に基づき、平成元年の学習指導要領改訂で男女共修となった。

これまで改訂された学習指導要領の改訂の時数と内容が児童・生徒の学力、生きる力や人間形成などに深く影響してきている。

今日、物質豊かな生活の変化により、生徒たちは自ら考えて生活を創造し、製作することに意欲を失ってきているが、真に物の価値や大切さを理解するためにはその製作過程を通して初めて理解できるものである。小・中・高の「技術」・「家庭」に関する教育内容を見てきたが、「家庭」に関する内容は、小・中・高で系統的に学習できるようになっている。しかし、「技術」教育については、人の一生において中学の 87.5 時間のみである。

これでは、男女共同参画社会における家庭における男の存在は何か？と問われると、育児、炊事、洗濯など家事の手伝いをするのと答えが返ってきそうである。最近「育メン」なる男性が注目を浴びているが、さもありなん、高校の家庭科で家庭における男の役割をこのように教えられているからである。しかし、家庭電気に関する知識や技術、家庭機械に関する知識や技術、材料や加工に関する知識や技術、生物育成や環境保全に関する知識や技術等の習得は中学校の 87.5 時間に任されていることになるのである。ただし、中学校の「情報に関する技術」は高校普通科「情報」につながってはいる。

2 新学習指導要領の全面実施におけるアンケート調査

2. 1 調査の経緯

平成 20 年改訂の学習指導要領の概要把握をする中で、過去の本教科の指導時数から極端に指導時数が削減されていること。その中で平成 24 年度から全面実施されることになっている。この段階で、現職の教師はどのように考えて実施に対応しようとしているのか、全九州中学校技術・家庭科教育研究協議会を通じて九州 8 県にアンケートをお願いした。2 月現在 5 県（鹿児島、熊本、長崎、佐賀、宮崎）の技術担当者 93 人、家庭担当者 88 人から回答を得た。これらのアンケートを分析していくことにする。

2. 2 アンケートの結果および考察

2. 2. 1 授業時数削減と他教科指導の影響

表1 技術・家庭科担当者の授業時数

学校規模	校数	技術科の時間	技術科以外の時間	技術以外の教科
5学級以下	12	3.7	5.6	特別支援担任, 体育, 美術, 数学, 理科
6～9学級	27	7.2	6.4	特別支援, 理科, 数学, 英語, 英語 TT, 社会
10学級以上	54	12.4	3.5	数学, 理科

学校規模により技術の平均授業時数と技術以外の持ち時数は変わってくるが、九州5県（93校）では、5学級以下の規模の学校で、平均持ち時数が3.7時間で技術以外の教科を5.6時間持っている。6～9学級規模の平均持ち時数は7.2時間で、技術以外の教科を6.4時間持っていることが分かる。また、10学級規模以上の平均持ち時数は12.4時間で、技術以外の教科を3.5時間持っていることが分かる。技術科以外の教科は特別支援、理科、数学、英語などを手伝っている。

九州5県のデータから分かることは、5学級以下の学校では、技術科の持ち時数よりも他教科の指導時数が多く、6～9学級規模の学校でも技術の持ち時数と同じくらい他教科の授業を持っていると言える。

2. 2. 2 学習指導内容の必修化の影響・・・

指導時数不足

「A材料と加工に関する技術」

内容項目	内 容	指導する時数
多い 14%	難しい 0%	少ない 44%
やや多い 31%	やや難しい 24%	やや少ない 39%
適当 48%	適当 72%	適当 16%

内容は「適当である。」ととらえていることが分かる。これは、旧学習指導要領の「技術とものづくり」がベースになっており、指導の経験があるからでは

ないかと考えられる。指導計画では「A材料と加工に関する技術」に充てる時数が約30時間（5県93校の平均）となっており、「ガイダンスや製作実習」を含めると指導時数が足りないと80%が感じていることが分かる。

「Bエネルギー変換に関する技術」

内容項目	内 容	指導する時数
多い 11%	難しい 12%	少ない 37%
やや多い 32%	やや難しい 34%	やや少ない 33%
適当 47%	適当 47%	適当 26%

内容は「難しい」「やや難しい」ととらえている者と「適当」と答えた者と二分されている。指導計画を作ってみると「エネルギー変換に関する技術」に充てる時数が約20時間（5県93校の平均）となっており、「エネルギー変換機器の仕組みと保守点検」と「エネルギー変換を利用した製作品の製作」の2項目を取り入れると、指導時数は足りないと70%が感じていることが分かる。

「C生物育成に関する技術」

内容項目	内 容	指導する時数
多い 6%	難しい 14%	少ない 22%
やや多い 26%	やや難しい 34%	やや少ない 31%
適当 58%	適当 43%	適当 37%

内容は「やや難しい」ととらえている者と「適当」と答えた者と二分している。指導計画では「C生物育成に関する技術」に充てる時数が約10時間（5県93校の平均）となっており指導時数が「少ない」「やや少ない」と感じている者がやや多いが、「適当である」と答えた者も少なくない。これは今まで、「栽培」の内容が選択であったために、ほとんど取り組んだ経験がなく、24年度からの指導に戸惑っているとともに、10時間では指導時数は足りないと53%が感じていることが分かる。

「D情報に関する技術」

内容項目	内 容	指導する時数
多い 19%	難しい 15%	少ない 30%
やや多い 29%	やや難しい 36%	やや少ない 38%
適当 40%	適当 38%	時数適当 30%

内容は「難しい」「やや難しい」ととらえている教師よりも「適当」と考えている教師が多いことが分かる。考えられるのは、今まで「情報とコンピュータ」ではマルチメディアを中心に指導してきた経験からきているのだろうか。しかし、新たに「プログラミングによる計測・制御」の内容を扱うことを考えると「難しい」ととらえているのではないか。

指導計画では「D情報に関する技術」に充てる時数は30時間（5県93校の平均）となっており、指導時数が足りないと約70%が感じていることが分かる。

2. 2. 3 選択の授業0の影響

ロボットコンテスト・ものづくりコンテストの存続の危機

平成10年の学習指導要領改訂では、選択の授業が2～3時間あり、その中でロボットコンテストやものづくりコンテスト等へ向けた指導が盛んに行われていた。

ロボコン県大会に参加したことのある学校は46校（93校中）で今後も参加したいと意欲を示している学校が21校ある。その理由として「技術の指導内容を多く含んだとてもよい題材である。」「創意工夫を最大限に発揮できる。」とか「工夫・創造する能力の育成のため。学び、創り出す喜びを感じさせる。」「他校との交流もでき、授業という形で達成感を感じられる。」「子供の様々な才能を育てる。」「本教科をアピールできる。」「生徒が興味を持って楽しく取り組むことができる。」と答えている。

しかし、今後は参加しないという学校が33校（54校中）あることが分かった。その理由は、「選択」の時間がなくなったのが大きな原因で、次に多いのが中学校の特性でもあるが、「希望者だけでもと考えるが、部活動と重なり放課後の時間がない。」また、「必修」の時間だけで精一杯であるというのもあり、授業時数が少なく、毎時間があわただしいと感じて

おり、教師にゆとりがないのかもしれない。

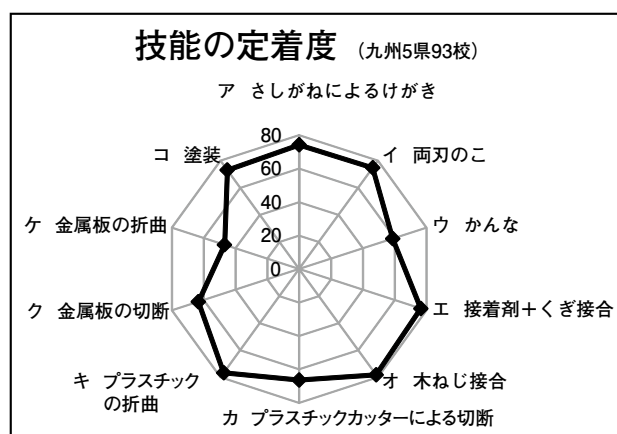
県ものづくり大会に出場したことのある学校は18校（93校中）あり、今後も16校（93校中）が出場すると回答している。それらの意義は「生徒の興味が高いから。子供の様々な才能を育てることができる。」「参加を通して技能、創造性をさらにのびたしい。」「一つの課題にとことん向き合うということがとても大切だと思う。」「生徒作品を発表するいい機会だと思う。」などである。このように『選択』の時間がなくなったことにより、過去10年間作り上げてきた「ロボコン大会」や「ものづくり大会」が危ぶまれるのである。

表 ロボコンやものづくり大会に参加しない理由

ロボコン	ものづくり	
28%	19%	…「選択」の時間がなくなり、指導する場がなくなった。
23%	27%	…「必修」の時間だけで精一杯
24%	38%	…希望者だけでもと考えるが、部活動と重なり放課後の時間が無
0%	1%	…生徒が興味を示さなくなった。
25%	15%	…材料や出場に費用がかかる。

2. 2. 4 技能定着度の低下

授業時間の不足・家庭における体験不足？



それぞれの技能について定着度はいかほどか問うた結果である。差し金によるけがき、両刃のこぎりによる切断、くぎ接合、木ねじ接合、塗装などは70%以上の定着度であり、ある程度技能の通過率はあると考えている。しかし、かんによる切削とプラスチックと金属の切断と折り曲げについては通過

率が低いと言える。

かなについて、製作時間の縮小の中で、微妙な刃の調整や刃の研ぎなど教師の負担もあり、ベルトサンダーややすりで代用できることから技能の定着は低いと思われる。また、プラスチックや金属については今回必修になった内容であり、教師も戸惑っていると思われる。

一方、これらの技能の通過率が低い理由の第1は、技能の定着を図るための授業時数の不足(51%)、次に家庭における体験不足(33%)であると考えられている。

中学校の技術・家庭科で「A材料と加工に関する技術」に割り当てる時間は平均すると30時間程度である。多くの生徒が普通高校に進学することを考えると、長い人生の中でただ30時間の授業しか受けられないことになる。

新学習指導要領では、基礎的・基本的な知識及び技術の習得を目標に掲げている。それは、発達途上にある中学校段階の生徒の学習体験や能力においても習得可能な知識及び技術であり、将来の生活における応用・発展へとつながることが期待される知識及び技術の習得であるという。技術科の担当教師は、以上の現実を捉え、しっかりと自覚し、この限られた時数の中で、基礎的・基本的な知識及び技術の習得を目ざして授業に臨まなければならないのである。

3 教科書の内容量増加の影響

必修の内容の増加にどう対応する

	旧教科書総p	「選択」のp	「必修」のp	新教科書総p	「必修」増加p
K社	225p	86p	139p	253p	114p
T社	241p	78p	165p	247p	82p

※1「K社：開隆堂 T社：東京書籍」

指導内容がすべて必修となり、教科書の内容が大幅に増えた。K社の旧教科書は、225ページであるが「発展」と「選択」の内容を省くと139ページが必修で扱う内容であった。同じK社の新教科書では、全て必修となったために253ページと114ページ(T社では82ページ)増えている。これらを87.5時間と限られた授業時数の中で114ページ(82ページ)分余計に指導することになったのである。上記のようにA「材料と加工・・・」～D「情報・・・」の内容

を指導するには、授業時数が足りないと考えるのは、教科書のページ数増加からも理解できる。

また、授業時数減は、生徒にとって技術・家庭科の目標を達成するには困難であると捉えている教師が多いこともアンケート結果から見えてきた。一番影響を受けるのは授業を受ける生徒である。限られた時間の中で質のある授業を提供するには、技術・家庭科の教師がこれらの現実を把握して、心して教育に努めなければならない。

4 専門教員の減少

免許外教員の増加、研究会の運営の危機

平成23年度 技術・家庭科の授業状況
(鹿児島県教職員録による)

授業者	実数(校)	割合(%)
技免許で技を指導	121	49.2
期限付で技を指導	5	2.0
非常勤で技を指導	12	4.9
免許所有で技を指導	138	56.1
体免許で技を指導	27	11.0
理免許で技を指導	19	7.7
数免許で技を指導	15	6.1
国, 社, 美, 英	47	19.1
免許外で技を指導	108	43.9
	246	100

授業者	実数(校)	割合(%)
家免許で家を指導	63	25.6
期限付で家を指導	13	5.3
非常勤で家を指導	41	16.7
免許所有で家を指導	117	47.6
音免許で家を指導	50	20.3
英免許で家を指導	14	5.7
国免許で家を指導	14	5.7
体, 社, 美, 数で家	51	20.7
免許外で家を指導	129	52.4
	246	100

平成23年度 鹿児島県における技術・家庭科の授業状況を「平成23年度 鹿児島県教職員録(教育振興会編)」により、中学校246校を調べた結果

である。教職員録の教科欄が「技、数」は「技術の免許で技術を指導」とし、「体・技」の場合は「体育の免許で技術を指導」として集計したものである。（県の統計とは異なることを断っておく。）それによると、技術の免許を持って技術・家庭科を指導している人が56.1%である。あと、体育の免許で11.0%，理科、数学と続き、43.9%が免許外ということになる。一方家庭科は47.6%が家庭の免許を持って指導しているが、音楽の免許で20.3%，英語、国語と続いている。半数以上が免許外で技術・家庭科の指導をしていることになる。

学習指導要領を読みこなし、教科の目標に沿った指導は、免許所持者でも簡単ではないのに、免許外担当者の苦勞はいかばかりかと気になる。このような状況で指導される生徒はどのような学力を身に付けていくのだろうか。ただし、免許外担当者がすべてこのような状況ではないと信じる。

どうしてこのようになるのか、18学級の大規模校で週15時間、9学級の小規模校では週7.5時間と一人の教師が持つ週時数としては少なすぎる。（一週29時間中）

また、技術の免許を持つ教員が、専門以外の教科を担当することが多くの学校で行われている。このことは、専門以外の教科の教材研究に時間をとられ、技術の教材研究に十分な時間をかけられなくなり、充実した授業ができないことも出てきている。また、免許外教員の増加は、新規採用教員の激減と連動することになる。さらに、技術・家庭科の研究会でも専門の教師が少なく、共同での教科研究や研究協議が深まらないなど技術・家庭科教育は負のスパイラルに陥っていつているのではないかと心配である。

5 課題解決への提案

技術立国日本・技術の重要性・生きる力・キャリア教育の充実

5. 1 技術・技能の裾野を広げる技術教育の充実

資源の少ない日本がこれまで発展してきた道、今後の日本が進む道、それは、原料を輸入し、加工し、付加価値をつけて輸出し、外貨を稼いで豊か日本であり続ける道であろう。

このように「ものづくり日本」、「技術立国日本」を標榜していくには、一握りの専門的な技術者だ

けでは発展はしない。更なる専門的な技術者を育成していくためには、技術教育の充実を図り、技術者の裾野を広げなければ、技術立国日本は衰退するのではないか。

5. 2 技術教育の充実

技術を理解することは、現代世界で極めて重要であり、全ての人の基礎教育の一部でなければならない。技術的方法の理解の欠如は、日常生活においてますます他人に依存させ、雇用の機会を狭くし、また、たとえば人間疎外や公害といった、技術の無制限の適用がもたらす潜在的に有害な結果がついには圧倒的となる危険性を増大させる。

「1972年 ユネスコ総会に提案された
フォール報告書」

先進国の普通教育における技術教育は、初等教育から中等教育まで11年間行われている。しかし日本のそれは、中学校技術・家庭科の技術分野の2.5年間と極端に少ないのである。このことが、まさしく現代の若者の実態がキャリア教育を必要とすることやフォール報告書に書かれていることと重なってくる。何とか技術教育の充実のために、時数を増やす必要があるのである。

5. 3 「生きる力」と技術・家庭科の目標

「生きる力」とは、確かな学力の定着と豊かな心・健康体力それに自ら課題を見つけ、自ら学び、主体的に判断し、課題を解決する資質能力であると定義されている。教科の目標を見ると「生活に必要な基礎的・基本的な知識と技術の習得を通して、生活と技術とのかかわりについて理解を深め、進んで工夫し創造する能力と実践的な態度を育てる。」となっており、究極の目標は、「進んで工夫し創造する能力と実践的な態度を育てる。」ことである。

例えば、家庭生活において、「マガジンラックがあると部屋の整理ができるのにな。」と考えたら、必要な機能を備えたマガジンラックを設計し、材料を集め、加工し、マガジンラックを完成できるような能力を身に付けさせることである。「生きる力」に重ねてみると、まさしく課題（マガジンラックがあれば）をみつけ、材料と加工に関する技術について学び、最後まで諦めず主体的に友達と協力しながら作品を作り上げていくことと一致する。

このように、技術・家庭科の学習指導そのものが

「生きる力」の育成と密接に関係しているのである。しかし、「材料と加工に関する技術」の授業時数が30時間程度では、製作にける時間が限られており、技術・家庭科の目標達成も十分に図れないのが現実である。

5. 4 キャリア教育と技術・家庭科の指導

キャリア教育とは「児童生徒一人一人のキャリア発達を支援し、それぞれにふさわしいキャリアを形成していくために必要な意欲態度や能力を育てる教育」である。端的には「児童生徒一人一人の勤労観・職業観を育てる教育」であると考えられている。

技術分野においては、「A材料と加工に関する技術」を例にとると、木材、金属、プラスチックなどの学習を通して、材料の特徴や加工技術の学習を通して、製作過程における友達との協力しながら作品を完成させていくには意志の強さを必要とし、苦労した後に完成した喜びを味わうといったことを実感として経験させることは、勤労観や職業観を知らず知らずに形成していると考えられるのである。

また、「Bエネルギー変換に関する技術」、「C生物育成に関する技術」「D情報に関する技術」では、電気、機械、栽培、育成、コンピュータなどの学習と実践・実習を通して生徒一人一人がそれぞれの学習内容への興味・関心を将来の職業と結びつけるなどの啓発的体験学習ができるものである。

しかし、87.5時間では十分ではない。もし、1年70時間・2年70時間・3年70時間あれば、生徒一人一人のキャリア教育である職業観や勤労観を技術・家庭科の学習指導を通して保障できると確信する。

5. 5 技術・家庭科の授業時数増に向けて

技術・家庭科を担当する教師は、限られた時数の中で、いろいろと工夫しながら、目標達成に向けて努力することでしょう。

しかし、教科の目標を十分に達成するためには時数確保が必要であるとして、9割の教師が授業時数を増やして欲しいと要望していることがわかった。

新学習指導要領が全面実施される時に、時数不足を訴えるのはおかしいことかもしれない。

時数確保が必要であることをアンケート結果や近年の教育動向等に照らして総合的に分析した結果、次期学習指導要領改訂に向けて、時数確保の運動は不可欠なのではないか・・・。

このような現職の担当者の声をどこに届けたらよいか、全九州中学校技術・家庭科教育研究協議会と連携して研究しているところである。

この原稿をまとめている途中に、うれしい知らせが入ってきた。全九州での取り組みが全国でも取り組むことになったのである。全日中技・家研本部からのFAXを添える。

この度は、「九州各県における技術・家庭科に関する調査結果」をお送りいただき、ありがとうございます。

技術・家庭科を深く愛している強い思いが、伝わってきました。調査内容においても現状を十分に把握できるものになっていると思います。全日中技・家研本部でじっくり読ませていただき、参考とさせていただきます。まずは、ご送付いただきましたこと、お礼を申し上げます。

参考文献

- 「鹿児島県中学校技術・家庭科教育研究会のあゆみー沿革史ー」中藺政彦編著 平成21年11月
- 「技術科教育のカリキュラムの改善に関する研究ー歴史の変遷と国際比較ー」国立教育政策研究所 平成13年3月

謝 辞

アンケートに協力していただいた全九州中学校技術・家庭科教育研究協議会及び5県93校の技術担当者、88校の家庭担当者と各県の中学校技術・家庭科教育研究会に感謝する。

※鹿児島・熊本・長崎・佐賀・宮崎の5県

※アンケート実施期間

H23.6～H24.2

資料１ 技術・家庭科の充実発展のために次期改訂に向けて、期待し求めるものは何ですか？

アンケート結果を集計すると、技術・家庭科担当教師の苦悩が見えてくる。何とかこのような課題の解決に行動していきたいものである。（九州５県 技術担当者の声）

社会的背景・内容
○ ものづくり立国とか食育とか家族の大切さについて国を挙げて取り組んでいるはずである。 ○ ものづくりの重視が叫ばれている。 ○ ものづくりは日本の中心である。自国民を教育せずものづくりを他国に頼ることは、国の衰退を招くことにつながる。 ○ 海外に誇る日本のものづくりの技術は、海外に流出し、廃れていくばかり。新たな技術を開発するにも創意・知識や知恵を育む場がなければ、新たな技術は生まれない ○ 内容が増え、時間数が今までと同じなのでこれまでの内容を減らす形になり、窮屈に感じている。 ○ 社数理で学んだことを役立てる場・深く学ぶ場・実践する場としても有効な教科であり「生きる力」を育てる役割を持つ。授業時数の確保無しには役割を果たせない。 ○ 今までよりもさらに広く浅くなり、４つの領域のつながりを心配している。技術科としての内容がさらに軽薄なものになったと思う。
授業時数増加の要望
○ ３年次の技・家の授業時数を３５から７０時間へ戻して欲しい。 ○ 特に３年次は、時間数増を強く望む。 ○ ものづくりなどの実践的、体験的な学習活動をするためには、最低７０、７０、７０の授業時数は必要不可欠だと考えます。 ○ ３年生が３５時間の授業時数では足りないので増やして欲しい。そうすれば、エネルギー変換や制御・計測の内容など新しい技術の基礎的な知識を身に付けることができる。 ○ ３年生の授業２週間に１時間では何も教えられないし、定着しない。学習内容を生徒が忘れている。 ○ ５教科と同等の時数が欲しい。実業的な高校では、技術科で培った力が基礎となる。普通科ばかりに進学するのではない。 ○ 社数理で学んだことを役立てる場、深く学ぶ場、実践する場としても有効な教科であり「生きる力」を育てる役割を持つ。授業時数の確保無しには役割を果たせない。 ○ 体験不足を感じる。体験の場を学校に求めるのであれば、技術分野のみで、１０５、７０、３５の授業時数の確保を求めたい。 ○ 選択教科における自由度が生徒の意欲を高める。「選択」は復活したい。 ○ 授業時数は技術分野７０、７０、７０は必要です。 ○ 授業時数の増加 ○ 授業時数の増加を希望する。 ○ 授業時数の増加。 ○ 授業時数をもう少し増やして欲しい ○ 授業時数をもう少し増やして欲しい。 ○ 内容を充実させるため、授業時数を増やしたい。 ○ 学習項目を充実させるために授業時数を増やして欲しい。 ○ 生徒に生きた経験を数多くさせるために授業時数増をお願いします。 ○ 昔の職業科のような実際の職業に役立つ子とを教えたい。高校進学に有利な資格が取れるといい。 ○ ＴＴが導入できれば実習で役立つ。 ○ ものづくりの体験とコンピュータなどのＩＣＴ機器の利活用ができる生徒の育成のために、授業時数の確保をお願いしたい。
教育課程編成への要望
○ 小学校での図画工作にて、木材を加工する工具の使い方を学習させ、中学校の技術につなげて欲しい。 ○ 国際的にみても（技術教育は）少ない。少なくとも７０、７０、７０時間を確保して欲しい。 ○ 世界各国の技術教育のよい内容を参考にして欲しい。 ○ 小・中・高のつながる教科にして欲しい。 ○ 小・中・高で継続して学習できる「技術教育」の内容を作って欲しい。 ○ 小・中・高それぞれの時期においてものづくりに打ち込む教育課程を編成して欲しい。 ○ 高校との連携が必要(情報など) ○ キャリア教育の観点から技術科の時数を増やして欲しい。 ○ 技術・家庭が同じ教科である矛盾を解消するため、独立して欲しい。 ○ 技術と家庭を別の教科として欲しい。 ○ 技術・家庭科の指導要録の評価を別にはできないだろうか。

資料2 免許外教員の増加とその課題（九州5県の技術科担当者の声）

授業時数の削減によって免許外担当教員の割合が増えている。このことによってどのような課題が現れてきているか答えてもらった。

免許外教員の指導の実態
○ 免許外教員一人増えると、技術をしっかり学んでいない生徒が数十倍～百倍増えることになる。大変な事態を招いてしまうのではないかと懸念している。 ○ 「免許外担当」という言葉が存在すること、このことが日本の教育の荒廃を意味すると思っています。免許外とは、無免許であるということ。国や地方自治体が教育の無免許運転を黙認しているということです。 ○ 教育の不平等化につながる。数校を掛け持ちする臨採の時間給の先生が多く、生徒とふれあう時間もなく、補充的な指導もできない。「個に応じた教育」のスローガンがむなし。 ○ 子どもが学ぶべき内容を全ての免許外担当者が指導できるとは思えない。 ○ 子どもが技術・家庭科を軽く見る傾向が出てくる。 ○ 免許外者は時数が少ない割に指導内容は多く使う教材や題材も幅が広く、教材研究することすら大変である。各校それぞれの先生方の裁量による部分が多すぎる。 ○ 技・家の先生の連携が図れなくなり、免許外の先生が苦勞している。ただのものづくりに終わっているところもあり、生徒が困ると思う。 ○ 小規模校での掛け持ちなども増えており、教材研究や準備の時間も減っており大変です。 ○ 複数校担当している先生がいるが、所属校での教育実践に参加できなかったり、負担をかけることになるのではないかと。 ○ 生活を明るく豊かにする技術・家庭科がないがしろにされていくのは忍びがたいものがある。このままだと教科そのものの存在が危うくなっていくのではないかと。 ○ 免許教科以外の時数の方が多く、自分が何の教員か分からなくなる。時数の関係で転勤ができる学校が限られている。 ○ 教員の負担が多くなり、授業内容の充実が図れなくなる。 ○ ものづくりなどの技術の授業だからこそ味わえる楽しさを十分に伝えられない。 ○ 免許外の先生では、十分な指導ができない。 ○ 本当の技術教育ができずに生徒たちにさまざまな体験をさせられない。 ○ 将来子どもが、ものづくりへの関心をもてるような授業をしていくことが必要です。 ○ 臨時講師等で賄っている現状は教科がないがしろにされていることであり、教科として存在している限りは、きちんと正規教員を配置すべきである。 ○ 免許外に限らず、兼任ということで日によって勤務校が違うこと。 ○ 教科指導に時間が取りにくい（校務分掌が多い）
技術・家庭科の研究会
○ 研究会への参加者数不足で盛り上がらない。 ○ 研究会等の開催、各支部での検討などが少しずつ困難になってきている。 ○ 技術・家庭科担当の教員の数が少ないために、研究会が成り立たなくなっている。 ○ 講師や非常勤講師が増えたため、県の発表や九州・全国の発表にも取り組んでいくための組織力が低下していると思う。2校かけもちの教員も増えており、授業を始めとして、やりづらい部分もある。 ○ 専門性よりも「ただこなしている」という印象をうける。時間数が増え、きちんと免許を持った教員が増えないと地区の研究会などが成り立たない。掛け持ちの教員が増え、地区の研究会が成り立ちにくい。 ○ 研修会が充実しない。
その他教室環境整備
○ 準備、片付け、工具の管理、設備の更新があるので、やはり正規の教員をつけていくべきだと思います。 ○ 技術教室の整備ができるか心配、3年間を見通した授業づくりになっているか心配である。 ○ 異動時に引き継ぎが困難。 ○ 免許外担当者の後の技術室・準備室の整理にどれくらいの労力と時間手間がかかるか理解して欲しい。 ○ 授業時数だけ見ていくのではなく、その前後も考えて欲しい。

以上、懸命に頑張っている教師の悲痛な声が聞こえてくる。

H. J. ラスキの多元的国家論 —「主権三部作」を中心に— (1)

今 市 隆 一

第一工業大学 講師

Pluralistic Theory of the State of Harold J.Laski —Study of His Earlier View on Sovereignty—

Ryuichi Imaichi

Abstract

In this treatise upon political theory, I propose to discuss Laski's views on state and sovereignty from the point of view of the nature of the state and political power. Laski thought that the parts of the state are real and self-sufficient as the whole and that the state is distributive and not collective. The state, therefore, is one of the many associations, such as a cricket club. According to his early writings, he denies that it is inherently entitled to primacy over other groups. Therefore, the sovereignty of the state is not different from the power of a church or a trade union.

Key words : *state sovereignty political pluralism pluralistic theory of the state*

- I. 略語・はじめに
- II. 多元主義の哲学的基礎
- III. 国家と社会との区別 (本稿(1)は以上ここまで)
- IV. 主権の可分性 = 多元性 (次稿(2)は以下最後まで)
- V. 国家の目的
- VI. おわりに

※次の「英文略語」は本稿の「註」で用いたもの。

- P T E ○ Political Thought in England: from Locke to Bentham (1916)
【全訳】『イギリス政治思想Ⅱ』堀豊彦ほか訳 (岩波書店)
- S P S ○ Studies in the Problem of Sovereignty (1917)
- A M S ○ Authority in the Modern State (1918)
- F S ○ The Foundations of Sovereignty and Other Essays (1921)
【部分訳】『主権の基礎』渡辺保男訳, 世界の名著 60 (中央公論社)
- K M ○ Karl Marx (1922)
【全訳】『カール・マルクス』服部辨之助

訳【角川文庫】(角川書店)

- G P ○ A Grammar of Politics (1925)
【全訳】『政治学大綱』横越英一ほか訳, 上・下巻 (法政大学出版局)
- H L L ○ Homes-Laski Letters, 1916-1935. (1953)
【抄訳】『ホームズ - ラスキ往復書簡集』鵜飼信成訳 (岩波書店)

I. はじめに

ラスキの思想的変遷は, C. ホーキンス, G. カトリン, H. A. ディーン¹, B. ツイルストラ²らによって, いくつかの段階に分けて考察されているが, 本稿ではホーキンスの「多元主義」(1914 ~ 1924 年)「修正多元主義」(1925 ~ 1931 年)「階級国家論」(1932 ~ 1950 年)の3段階説に一応基づき, 初期ラスキの「多元主義」の国家論を考察していき

¹ H. A. Deane, The Political Ideas of Harold J. Laski, Columbia University Press, 1955. 本書の全訳として, H. A. ディーン『ハロルド・ラスキの政治思想』野村博訳 (法律文化社, 1977 年)がある。

² B. Zylstra, From Pluralism to Collectivism—the Development of Harold Laski's Political Thought —, Vangorcum, 1970.

たい。したがって考察の中心の対象となるのは彼の初期の著作である「主権三部作」である。

かつてヘーゲルは、人倫は家族・市民社会を経て、国家の段階へと弁証法的に発展する体系を持つとした。家族は自然の情愛による結びつきを持つが、反面、個々の独立性に欠ける。一方市民社会はといえば、利害の対立や自由競争によって全体のまとまりに欠ける。しかるにヘーゲルは国家を家族(全体性)と市民社会(個別性)が止揚された最高の人倫の形態とみなしたのである。³ かくしてヘーゲルは『法の哲学』において、「国家が市民社会と取りちがえられ、国家の使命が所有と人格的自由との安全と保護にあるときめられるならば、個々人としての個々人の利益が彼らの合一の究極目的であるということになり、このことからまた、国家の成員であることはなにか随意のことであるという結論が出てくる。しかし、国家の個人に対する関係はこれとはぜんぜん別のものである。国家は客観的精神なのであるから、個人自身が客観性、真理性、倫理性をもつのは、彼が国家の一員であるときだけである。」⁴ と述べ、個々人の最高の義務は国家の成員であることであると主張する。このようなヘーゲル的国家観は19世紀後半、国家生活の絶対性を説いたT. H. グリーンなどのイギリス理想主義学派に取り入れられ、「国家の特殊性や全包括性に関する古い概念」⁵ を展開したB. ボザンケ⁶ に至って新ヘーゲル学派が形成

せられ、個人と国家との合体、倫理と政治との同一性を説く国家論がとなえられた⁷ が、このようなヘーゲル流の国家論に対する反撃として提起されたのが、本稿で扱う多元的国家論(政治的多元主義)である。

国家は数ある社会集団の一つに過ぎず、諸集団の利害や機能を調整する役目を持つ点で相対的な優越性をもつに過ぎない、とする多元的国家論を主張した思想家として、イギリスの政治学者H.J. ラスキ、E. バーカー⁸、経済学者G.D.H. コール⁹、アメリカの社会学者R. マッキーバー¹⁰、フランスの法学者L. デュギー¹¹をあげることができる。またこの思想の源流としてイギリスの政治学者J. N. フィッギス¹²、団体人格實在説を展開したイギリスの法制史学の巨匠F. W. メートランド、ラスキ的な多元主義国家論の先駆者として再評価されつつある法学者・政治学者J. アルトジウス¹³をいわば「発見」し、さらに自らも団体は国家から離れた固有の自然的法人格を持つという学説を展開したドイツの法学者ギールケ¹⁴らがあげられる。とはいえ、やはりこの理論を主導したのは、市民の自発的かつ多元的な政治参加が可能であった英米の政治学者らであった。

ラスキは、『政治学大綱』(1925年)の「初版への序文」の中で、『政治学大綱』は「(ウォーラスのいう)「大社会」¹⁵における国家の位置に関する理論を建設するために、1915年にはじめられた努力を完

³ G. W. F. ヘーゲル『法の哲学』藤野渉ほか訳、世界の名著 35 (中央公論社、1967年) 384・385 ページ。

⁴ 同上書 480 ページ。

⁵ R.M. マッキーバー『社会学講義』菊池綾子訳(社会思想研究会出版部、1957年) 123 ページ。

⁶ B. ボザンケのThe Philosophical Theory of the State, 1899 に対して、L. T. ホップハウスは、The metaphysical Theory of the State, 1918 (『国家の形而上学的学説』鈴木栄太郎訳(不及社、1924年)を著して批判した。

⁷ 『政治学事典』(平凡社、1954年) 875 ページ。

⁸ E. バーカー『政治学原理』堀豊彦ほか訳(勁草書房、1969年)の第1章～第3章を参照。またE. バーカー『現代政治の考察』足立忠夫訳(勁草書房、1968年)の「第5章 集団の噴出」も参照。

⁹ G.D.H. コール『社会理論』村上啓夫訳、世界大思想全集 45 (春秋社、1929年)

¹⁰ R.M. マッキーバー『政府論』秋永肇訳(勁草書房、1954年)。『コミュニティ』中久郎ほか監訳(ミネルヴァ書房、1975年)。また研究書として、町田博『マッキーバーの政治理論と政治的多元主義』(東信堂、2005年)を見よ。マッキーバーの多元主義国家論の「極めて簡単なスケッチ」として、大道安次郎『マッキーバー』(有斐閣、1959年) 43～50 ページ。

¹¹ L. デュギー『法と国家』堀真琴訳(岩波書店、1935年)。また研究書として、大塚桂『フランスの社会連帯主義—L. デュギーを中心として—』(成文堂、1995年)を見よ。ラスキのデュギー観として、和田英夫「ラスキのデュギー国家論—une esquisse—」(和田英夫『国家権力と人権』三省堂、1979年)所収、218～236 ページを参照。

¹² フィッギスとメートランド・ラスキとの関係については、R. Barker, Political Ideas in Modern Britain. Methuen & Co Ltd. を見よ。

¹³ ギールケ『ヨハネス・アルトジウス—自然法的国家論の展開および法体系学説史研究—』笹川紀勝ほか訳(勁草書房、2011年)。アルトジウスの理論的な業績については、F. ヴィーアッカー『近世私法史』鈴木録弥訳(創文社、1961年) 329～332 ページを見よ。

¹⁴ 遠藤泰弘『オットー・フォン・ギールケの政治思想—第二帝政期ドイツ政治思想史研究—』(国際書院、2007年)。本書において著者は、「多元的国家論の政治構想を検討しようとする場合に、フレデリック・ウィリアム・メートランド(Frederic William Maitland)を通じて英国に輸入され、多元的国家論の源流になったギールケの団体思想を看過することは本来許されないはずである。」と述べている。またギールケの「目に見えない法人格としての造営物国家」という概念については、塩野宏『オットー・マイヤー行政法学の構造』(有斐閣、1962年) 239 ページを参照。

¹⁵ 「大社会」については、田口富久治『社会集団の政治機能』(未来社、1969年)のI「『大社会』の形成と政治理論」281～317 ページを見よ。

了するもの」であり、『政治学大綱』以前に刊行された著書（『主権の問題の研究』（1917年）、『近代国家における権威』（1919年）、『主権の基礎』（1921年）は、「主として批判的なもの、すなわち政治哲学における幾分技術的な問題を論じようと意図したもの」であつたと述べている。これに対し、『政治学大綱』は「もつと実証的全般的である。というのは、私が研究してみて望ましいと思った諸制度の輪郭を描く試みをしているからだ。」¹⁶と述べ、「主権三部作」¹⁷と彼の畢生の大著『政治学大綱』との関係を自ら明らかにしている。G. イーストウッドはその著『ハロルド・ラスキ』¹⁸の中で、この4冊の（アカデミックな）著書は「ビッグ・フォー」（the big four）と呼ばれていると紹介している。ちなみに「目次」から見たこの「ビッグ・フォー」の構成は、次の通りである。

『主権の問題の研究（Studies in the Problem of Sovereignty）』（1917年）

第1章「国家の主権」

第2章「主権の分裂」

第3章「オックスフォード運動¹⁹の政治理論」

第4章「カトリック復興の政治理論」

第5章「ド・メーストル²⁰とビスマルク」

追加A「主権と連邦主義」

追加B「主権と中央集権」

『近代国家における権威（Authority in the Modern State）』（1919年）

第1章「近代国家における権威²¹」

第2章「ボナール²²」

第3章「ラムネー²³」

第4章「ロワイエーコラル²⁴」

第5章「フランスにおける行政的サンジカリズム²⁵」

『主権の基礎（The Foundations of Sovereignty and Other Essays）』（1919年）

①「主権の基礎」【邦訳】

②「行政領域の問題」

③「イギリスにおける国家の責任」

④「結社の人格性」

⑤「イギリスにおける初期法人史」

⑥「国民主権論」【邦訳】

⑦「多元的国家論」【邦訳】

⑧「代理責任²⁶の基礎」

⑨「ジェームズ1世²⁷の政治思想」

『政治学大綱（A Grammar of Politics）』（1925年）

第1章「社会組織の目的」【邦訳】

第2章「主権」【邦訳】

第3章「権利」【邦訳】

第4章「自由と平等」【邦訳】

第5章「財産」【邦訳】

¹⁶ G. P. 邦訳, xvi ページ。

¹⁷ ラスキの『主権の問題の研究（Studies in the Problem of Sovereignty）』（1917年）、『近代国家における権威（Authority in the Modern State）』（1919年）、『主権の基礎（The Foundations of Sovereignty and Other Essays）』（1921年）の3冊をいう。

¹⁸ G. Eastwood. Harold Laski. Mowbrays. p. 103.

¹⁹ 19世紀中葉にイギリス国教会内に起きた、オックスフォード大学を中心とする、教会改革運動。

²⁰ ド・メーストルについては、J. P. メイヤー『フランスの政治思想—大革命から第四共和政まで—』（岩波書店、1956年）47～49ページを見よ。また、C. シュミット『政治神学』田中浩ほか訳（未来社、1971年）69～87ページの「反革命の国家哲学について」の箇所を見よ。さらにC. プリントン『近代精神の形成』河原宏ほか訳（早稲田大学出版部、1960年）242～244ページを参照。

²¹ 「権威」概念については、秋永肇『現代政治学』（富士書店、1974年）第2部62～78ページ。秋永氏は、「権力は権力者の意志に従って行動を変えさせる影響力を核としてのコミュニケーション対象の意志いかんにかかわらず行動させる力と、権力者のコミュニケーションに示された意志を服従者が積極的に承認（合意）して自発的にその意志に従って行動させる力が付加されて合成された複合体であると規定して、権力における後者の契機を権威（authority, autorität, autorité）」と呼んでいる。秋永、前掲書、第2部62ページ。

²² ボナールについては、五十嵐訳、前掲書、49～51ページを見よ。また、C. シュミット『政治神学』（未来社、1971年）田中浩ほか訳、69～87ページの「反革命の国家哲学について」を見よ。

²³ ラムネーについては、五十嵐訳、前掲書、56ページを見よ。またJ. P. メイヤーは、ラスキが、その著『近代国家における権威』の中で、「ラムネーに関して、みごとな研究——英語で存在する最も包括的な研究——を書いた」と評している。五十嵐、前掲書、56ページ。

²⁴ ロワイエーコラルについては、五十嵐訳、前掲書、26～36ページを見よ。

²⁵ サンジカリズムとは「サンジカ（組合）を資本主義社会における闘争の主体とし、またプロレタリア革命後の未来社会における基礎組織としようとする理論ならびに運動」である。『政治学事典』（平凡社、1954年）535ページ。

²⁶ F. S. pp.260-61. 結局、「代理責任」とは、雇用主はたとえ雇用主に過失がなくても使用人の不法行為に対して責任があるとするもので、こうした考え方は個人とともに諸種の団体や法人組織でない結社にも適用されてしかるべきだ、というのがラスキの主張である。

²⁷ ジェームズ1世の政治思想については、G. P. グーチ『イギリス政治思想I』堀豊彦ほか訳（岩波書店、1952年）1～21ページを参照。

第6章「民族主義と文明」【邦訳】

第7章「連立的なものとしての権威」【邦訳】

第8章「政治制度」【邦訳】

第9章「経済制度」【邦訳】

第10章「司法手続」【邦訳】

第11章「国際組織」【邦訳】

I. 「多元主義の哲学的基礎」

ラスキの多元的国家論に対する批判は様々であるが、その最も鋭い批判者はドイツの政治学者C. シュミットであろう。彼は政治の決定的標識を「友敵関係」としてとらえ、戦争などの「例外状況」²⁸にこそ政治的なものの本質があるとして、主権概念²⁹や国家概念、つまるところ「政治とは何か」という政治学の根本問題にかかわる政治概念の明確化を要求する。シュミットによれば、国家が決定的な単位であるのは、その政治的な性格にもとづく。したがって多元的国家論は「社会的諸団体の連合によって単位となる国家の国家理論」であるか、さもなければ、「国家の解消・否定の理論」にしかすぎない。あるいは少なくとも国家は「諸団体と同列の一団体」なのか、それとも「諸団体の一種の上位団体」なのかさえ明らかにしておらず、不分明なままであるというのである。もしラスキが国家の単一性に異論を唱え、国家を「政治団体」として、他のたとえば、宗教団体・経済団体などと同列に置くのであれば、先ずもって政治的なものの特殊的内容がどうであるかという問いに答えなければならない、とシュミットは主張する。しかし「ラスキはその数多い著書のいずれにおいても、国家・政治・主権および『政府』について絶えず言及しながらも、肝心の政治的なものの概念についての明確な定義は見いだせないのである。国家は、他の諸団体と競合する一団体にあっさりとは変容し、その内部および外部に存在する他のいくつかの利益社会と同位・同列の、一利益社会となっている」³⁰というのである。したがってラスキらの多元的国家論は、国家主権を相対化する一方で、

政治的な単位としての国家の本質、要するに「政治的なもの」の明確な定義が欠けているとして政治的多元主義の持つ弱点を鋭くついている。

このようなシュミットの政治学的な観点からの批判はよしとしても、そもそも多元主義(pluralism)という哲学上、なかんずくジェームズのプラグマティズム³¹上の概念が国家にそのまま適用せられ得るか否かが、まずもって問われねばならないであろう。のみならず多元主義という概念自体が、哲学の領域においてすら、いまなお十二分な定義を与えられておらず、曖昧なままなのである。したがってまた、なにゆえこのような概念でもって国家を説明せねばならないのか、その理由は必ずしも明らかではないのである。シュミットは、先の『政治的なものの概念』の中で、多元的国家論は第一にそれ自体が多元論的であると皮肉ったあと、多元的国家論には「統一的中心がなく、その思考上の契機を実にさまざまな観念領域(宗教・経済・自由主義・社会主義等々)からえている」³²と述べているが、この指摘を完全に否定することは困難である。

思想史的にみて、多元主義は、特に20世紀において、W. ジェームズが、ドイツ観念論、とりわけヘーゲル主義的な世界観から抜け出ようと苦闘していたアメリカ哲学界の状況を背景に、1909年、「宇宙は多元である」という『多元的宇宙』論を唱えて以来、英米で有力な潮流になった。特に、政治学の領域で、多元主義は、全体主義やマルクス主義の一元的な世界観に対抗する民主主義の基本的な世界観として標榜された³³のである。またドイツの哲学者カント³⁴は、多元論を政治的、社会的な次元にも適用し、「多元論を、地球上の国々や社会の独立性・独自性を認めながら、自らのそれには固執せず、世界市民的に自らを捉える考え方」³⁵だとしている。これは政治的多元主義の先駆とも考えられなくもないのである。ラスキの国家論は「プラグマティズムと交渉をもつ多元主義の国家論」³⁶であるといわれるように、哲学という観念領域でいえば、ラスキが

²⁸ C. シュミット『政治的なものの概念』田中浩ほか訳(未来社、1970年)45ページ。

²⁹ 主権の概念は多義的であるが、一般に、(1)国家権力そのもの(2)国家権力の属性としての最高独立性(3)国政についての最高の決定権という3つの異なる意味で用いられる。芦部信喜『憲法・新版』(岩波書店、1997年)39～40ページ。

³⁰ C. シュミット、前掲書、45ページ。

³¹ ジェームズ「プラグマティズム」梶田啓三郎訳(『ウィリアム・ジェームズ著作集』5巻、日本教文社、1960年)所収。99～127ページの「第4講 一と多」を参照。

³² 同上、46ページ。

³³ 『岩波哲学・思想事典』(岩波書店、1998年)1030ページ。

³⁴ W. O. デューリンク『カント哲学入門』龍野健次郎訳(以文社、1971年)の「第7章 カントと国家」を参照。

³⁵ 『岩波哲学・思想事典』(岩波書店、1998年)1031ページ。

³⁶ ラスキ『議会政治の崩壊と社会主義』岡田良夫訳(法律文化社、1978年)の「訳者まえがき」1ページ。

アメリカのプラグマティズムを代表する哲学者のひとりであるジェームズの著作（宗教、道徳に関するジェームズの講演・雑誌論文 10 篇をジェームズ自身がまとめ、《信仰の多元性》から《忠誠の多元性》を展開した『信ずる意志』、プラグマティズムの基礎となった古典的名著である『プラグマティズム』、宇宙が多元であるというジェームズの理論が展開されており、一元論と多元論の対比を克明に論じた『多元的宇宙』³⁷ など）から多大な影響を受けたことは確かである。事実ラスキは『主権の問題の研究』の中で、ジェームズの『多元的宇宙』から次の一節を引用している。「多元論的な見解によれば、我々が考えるすべてのものは、どんなに広大で包括的なものであろうとも、ほんものの『外的な』環境を持っているものなのである。事物は、さまざまなあり方において、お互いに『一緒に』いる。しかしすべてのものをつつんだり、すべてのものを支配したりするものは、ないのである。どんな文章にも『と、そして』ということばがついてまわっているのである。多元的な世界は、こういうわけで、帝国や王国よりは、連邦共和国に似ているのである。どんなに沢山のものがあつめられようとも、ある意識ないしは行動の能動的な中心の中に、どんなに多くのものがあられようとも、何かほかのものが、いつも欠けていて、統一のなかに入らないのである」³⁸。これは、多元論、つまり宇宙は多者である、とするジェームズの教説は、単に、ジェームズ自身が述べているように、実在のさまざまな部分は、外的に関係づけられているかもしれない、ということ述べているにすぎないのである。³⁹ ラスキはさらに『主権の基礎』の脚註の中でも、このジェームズの『多元的宇宙』を高く評価し、「この本全体は政治理論にとって極めて重要である。」⁴⁰ と述べ、最大限の賛辞を送っている。そして「多元的な世界は、こういうわけで、帝国や王国よりは、連邦共和国に似ているのである。どんなに沢山のものがあつめられようとも、ある意識ないしは行動の能動的な中心の中

に、どんなに多くのものがあられようとも、何かほかのものが、いつも欠けていて、統一のなかに入らないのである」⁴¹ というラスキが『主権の問題の研究』で一度引用したジェームズの『多元的宇宙』の一節を再度引用している。さらにラスキはこうしたジェームズの考えを「社会にも適用して」⁴² 次のように述べている。「我々が暮らしている社会がどんなに組織的であれ、人間は社会的存在であることと同様に孤独な存在である。そして人間の申し分のない世界は、実は、分裂しているのである。どんなに多くの人が一緒に行動しようとも、人々はやはり一人で行動したがるのである。いかにしばしば人々が群れの一員として考えようとも、人々はやはり孤独な放浪者として考えることを願っているのである」⁴³。つまり人間は抽象的人格としてはすべて同一であっても、その人格の内容を形成する思想や欲望は異なっている。自分の良き生活は他人の良き生活と同一ではない。したがって各個人にとっての最善の生活は、各人の理性により支配された衝動または欲望の調和的発展なのである⁴⁴。またラスキは、1937 年に追加した『近代国家における自由』の「序論」において、次のように述べている。「われわれの住む世界は、統一的な経験から導き出されてくるような一元的な世界ではない。それは多元的世界であり、そこに体现されるものは、不可避的な相違をもった異種の経験、常に異なって解釈される経験である。とはいえ経験には類似的なものがあり、われわれが忍耐と善意とを持つならば、秩序と平和とを達成するに必要な統一を生み出しうる。しかし、この類似は同一とは異なる。類似が存するからといって、一人の経験で他人のそれを代表してよいと主張する権利はわれわれにない。類似があるからといって私が最も深く心に欲するものを他人の欲望の中に見出すなどと言うことはできない。私は、自らを全体的主題の単なる付加的部分として意識するような、ある偉大なる交響楽の一部ではない。私は唯一であり、個であり、私自身である。そしてこの性質に基づい

³⁷ ジェームズ「信ずる意志」福鎌達夫訳（『ウィリアム・ジェームズ著作集』2 巻、日本教文社、1961 年）所収。
ジェームズ「プラグマティズム」梶田啓三郎訳（『ウィリアム・ジェームズ著作集』5 巻、日本教文社、1960 年）所収。
ジェームズ「多元的宇宙」吉田夏彦訳（『ウィリアム・ジェームズ著作集』6 巻、日本教文社、1961 年）所収。この三作品はいわばジェームズの「多元論三部作」ともいべきものである。

³⁸ 243～244 ページ。ラスキは F S, p.169. において、この本のとりわけ「第 5 講 意識の複合」を参照するよう勧めている。

³⁹ 吉田訳、前掲書、243 ページ。

⁴⁰ F S, p. 169.

⁴¹ Ibid., p.169.

⁴² 関嘉彦『現代国家における自由と革命—ラスキ研究入門—』（春秋社、1952 年）36 ページ。

⁴³ S P S, pp.264-265.

⁴⁴ ラスキ『世界大思想全集』関嘉彦訳、社会・宗教・科学思想篇 26（河出書房、1956 年）の訳者「解説」330 ページ。

て私自身の行動原理を樹立しなければならない。」⁴⁵ これはジェームズの『多元的宇宙』を彷彿とさせる一節であるが、実はラスキ自身の言葉である。このことは「修正多元主義」期以降においても、ラスキの世界観へのジェームズの影響はいささかも減じてはいないことの証左に他ならない。しかしここで我々は次のテーマに移らなければならない。なぜならD. ニコルスが言うように、われわれが、関心を払うのは政治的多元主義であって、W・ジェームズのような哲学的多元主義⁴⁶ではないからである。

Ⅲ. 国家と社会との区別

ラスキは、ブラッドレー一派によって、「共同社会の観念」の欠如がその学説の最大の欠点であると攻撃されたが⁴⁷、ラスキの立論の出発点は《国家と社会との区別》であった。つまり人々は宗教・教育・経済などの複雑な要素にしたがって互いに結合し、一つの全体社会を構成している。国家はこうした全体社会の中にある社会関係の網の目である数ある団体の一つにすぎないというのである。つまりこれまでの《伝統的国家論が国家を全体社会と規定》したのに対し、《多元的国家論は国家を部分社会と規定》したのである。そのうえで一般に《国家という部分社会は国家以外の部分社会とならば本質的な差異はなく、全くの並列関係にある。》とみなすのである。国家は国家しかできない集団間調整という《特殊な機能》を有しているので他の部分社会とは区別されるという議論に対し、それにもかかわらず、いなむしろそれゆえにこそ国家と他の団体とは、少なくとも「道徳的平面」では、同じだというのである。つまり国家以外の各種団体、たとえば政党⇒政治的機能、会社⇒経済的機能、教会⇒宗教的機能、学校⇒教育的機能、大学⇒研究的機能、労働組合⇒職業的機能、クリケットクラブ⇒娯楽的機能といったように、それぞれ《特殊な機能》を共に有している。つまり国家に限らずどの団体も《特殊な機能》を有しているという意味では、同じではないかという主張なのである。こうしてラスキは『近代国家における権威』において、「多元論は、社会と国家との同一

視を否定する。多元論は国家目的が公表されるまではそれについてなんら知られないと主張する。多元論は明確な理由に基づいて、その内容についてあらかじめ意見を述べることを拒否する。多元論は人間を社会の一員として自己実現せんと欲する存在と思っている。多元論は国家の各行為を個人の良心に照らして判断する。多元論はできごとの最高の決定者はそのような良心の総体であると主張する。多元論は個人が個人と接触している無数の結社の影響を受けていることを否定しない。ただしそれは個人が結社によって吸収されないものである。多元論は社会を目的でのみ一つであるとするが、事実上違ったふう解釈され、多くの方法で実現できると主張する。このように分析すると国家は多くの形式の人間の団体の一つにすぎないのである。多元論は、教会や労働組合、あるいはフリーメーソンの支部会員たちの間で仲良くやれないのと同様に、社会の目標について必ずしも意見の一致をみないのである。国家以外の団体は国家のコントロール下にあるというのは本当だ。けれどもそれだからといって団体が国家より劣っているということにはならないのである。実際、団体は国家より劣っているという仮定は、さまざまな目の前の目的を比べることから生じる誤った考えである。教会と国家との間には道徳的優劣はありえない。団体が法的に劣っているという考え方はオースティン流の主権論という誤った仮定か、国家と社会との誤った同一視から生じているのである。」⁴⁸ したがってラスキの『主権の問題の研究』によれば、「国家の要求する服従は他の団体の要求する服従より強いかもしれないが、それは程度の問題であって、質的差異の問題ではない。」⁴⁹ というのである。あるいは国家がその目的＝機能に対して主権的であるごとく、他の団体もその遂行する目的に対して等しく主権的であるというのである。⁵⁰《国家と他の団体とを区別を強調する主張》に対するラスキらの反駁は、矢部貞治のまとめ⁵¹によれば、次のとおりである。

(1)国家は強制的団体であって、他の団体は任意的であり、人間は生まれながらにして必然的に国家に

⁴⁵ ラスキ『近代国家における自由』飯坂良明訳（岩波書店、1972年）104 - 105 ページ。

⁴⁶ D. ニコルス『政治的多元主義の諸相』日下喜一ほか訳（お茶の水書房、1981年）3 ページ。

⁴⁷ 秋永肇、前掲書、第1部143 ページ。

⁴⁸ AMS, pp. 65 - 66.

⁴⁹ S P S, p.17.

⁵⁰ 原田綱『増訂政治思想史概説〔Ⅱ〕』（有斐閣、1941年）579 ページ。

⁵¹ (1)～(6)の箇所の記述は、そのほとんどすべてを、矢部貞治『政治学』（勁草書房、1949年）145～146 ページ、および高文社編集部編『政治学概論』（高文社、1961年）83～84 ページに負っている。ただしここで挙げた現在の具体例はすべて筆者によるものである。

属し、加入脱退を自由になし得ないのに対し、他の団体はそれが任意的だということ。これに対し多元的国家論者は国家でも国籍の離脱や帰化が可能であり、生まれながらにして必然に加入するものとしては家族もそうであるとする。日本国憲法第22条②に「何人も、外国に移住し、又は国籍を離脱する自由を侵されない。」とあるが、これは国籍付与を各国の裁量事項とみなす伝統的な考え方から、国籍変更を権利とみなす考え方への転換を意味している。カンボジア・オリンピック委員会の誘いに乗って日本国籍を捨て、一時期マラソンのカンボジア代表になったタレントの猫ひろし、かつて「オリンピックに国境はない」と公言し、ロシア国籍を得てオリンピックに出場し、スケートで入賞した川口悠子、あるいは逆に在日韓国人が、周囲の猛反対を押し切って、日本に帰化し、サッカーアジア杯の「日本代表」に選ばれて活躍した李忠成選手^{りただなり}のケースや、母国中国に対する失望から日本への帰化を決意し、現在も学者としてマスコミ等で鋭い論陣を張っている石平教授^{せきへい}のようなケースは少なからずある。(2)他の団体には同時に二つ以上に参加し得るが、国家は同時に二つ以上に属することができないこと。これに対し多元的国家論者は、団体によっては同時に二つ以上に属することができても、同時に二つ以上の教会や労働組合に属することができない点では、何等国家と異ならないし、他面では国家でも二重国籍ということがあり得るとする。(3)国家は一定の領土の上に存在するが、他の団体は領土ないしは地域の要素がなくても存立し得るし、又数か国に互って存在することもできること。これに対し多元的国家論者は、地域的な要素又は限界をもつ団体も存在すると説く。(4)他の団体の目的は特定のものに限定されるが、国家の目的は全般的であること。これに対し多元的国家論者は、国家が全般的目的を持つということを否認し、《国家もまた社会的統制ないしは特定の機能をもつに過ぎない》とする。(5)他の団体の存在は一時的であるが、国家は永久的存在であること。これに対し多元的国家論者は、《生命の短い国家》あるし、その反面ローマカトリック教会の如きは殆

んど永久的な存在であるとする。《生命の短い国家》の例として海水面の上昇で国土が次第に沈みつつあるツバルのような国や男子の後継ぎが生まれないとフランスに併合されることになっているモナコ公国などが予測できよう。(6)他の団体は法と権力による強制をなしえないが、国家ではそれが行われること。これに対し多元的国家論者は、強制や制裁は、その形は異なるにせよ、いずれの団体にもあるものであり、個人にとっては国家の制裁よりも、他の団体の制裁(教会による破門など)の方が苦痛な場合もあるとする。叙任権闘争の過程で皇帝権(ドイツ皇帝ハインリヒ4世)が教皇権(教皇グレゴリウス7世)に屈服した「カノッサの屈辱」(1077年)はそのよき事例であろう。

平成23年度において学外に発表された論文及び講演

(2012年3月現在)

発表者	題 目	雑誌名・講演会名	発表・開催年月
1 印刷論文・著書			
中 村 俊一郎	Repair of thin CFRP panel in airplane structure	The 11th International symposium on Aerospace Technology	Sep. 2011 Sacheon, Korea
Yoshihiro Tanada, Kiminori Sato	Construction of Huffman Sequences With Long Length and Low Crosscorrelations	Proceedings of the Fifth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications, pp.68-71	2011年10月
若 井 一 顕	大学発コミュニティFM局と地域活性化ビジネスの研究	日本教育公務員弘済会鹿児島支部教弘通信第110号 p.4	2011年9月
若 井 一 顕	中波自動整合回路の制御方式による信頼性評価	電子情報通信学会、信学技報、IEICE Technical Report R2011-46. pp.25-30 EMD2011-120 (2012-2)	2012年2月
若 井 一 顕	デジタル時代のラジオ送信機の設計・調整と課題	日本信頼性学会誌2012年VOL.34,NO.2 特集号pp.108-120	2012年2月 学会誌掲載
仮 屋 孝 二	時効硬化Al合金押出し材の回転曲げ疲労強度に及ぼす大気湿度の影響	(社)日本材料学会 第60巻 第4号 pp.339~344	2011年4月
仮 屋 孝 二	Fatigue fracture mechanism of extruded Al alloy 7075-T6 in high humidity	Key Engineering Materials, Vols.488-489, pp.45~48.	2011年9月
仮 屋 孝 二	時効硬化Al合金押出し材のせん断形疲労き裂の伝ば機構	(社)日本材料学会 第60巻 第10号 pp.890~897.	2011年10月
仮 屋 孝 二	時効硬化Al合金の疲労特性に及ぼす時効組織および湿度の影響	(社)日本材料学会 第60巻 第11号 pp.1015~1022.	2011年11月
Reiji Nanba, Masakazu Takahashi, Myokin Tokuyama, Shigeru Isogai	Effective Usage of Spring-Water and Psychology of Consumer	CD Proceedings of international conference, Control Information Technology and System Integration, SICE2011	Sep. 2011 Tokyo, Japan
Kanae Nishizaki, Reiji Nanba, Masakazu Takahashi	A Proposal of Elderly Person's Arising Action from Chair	CD Proceedings of international conference, Control Information Technology and System Integration, SICE2011	Sep. 2011 Tokyo, Japan
Masakazu Takahashi, Reiji Nanba	An Extraction of Failure Modes for Drug Manufacturing Computerized System	CD Proceedings of international conference, Control Information Technology and System Integration, SICE2012	Sep. 2011 Tokyo, Japan
Reiji Nanba, Masakazu Takahashi, Myokin Tokuyama, Mitsunori Tanaka	Teaching Materials from Industrial Fair by Using Repetitive CS Analysis	CD Proceedings of international conference, Fifth International Symposium on Advances in Technology Education, ISATE2011	Sep. 2011 Singapore

発表者	題 目	雑誌名・講演会名	発表・開催年月
2 口頭発表			
棚田嘉博 井口正人 佐藤公則	有限長擬似雑音系列を用いた地中水中音波電波伝送	平成23年度電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 01-2P-01, pp.448-449	2011年9月
大城晋也 鬼塚綾乃 山ノ口忠彦 東明宏博 棚田嘉博	有限長スペクトル拡散音波電波信号の地中水中伝送実験	2011年電子情報通信学会九州支部学生会講演会講演論文集, B-20, p.1	2011年9月
村岡哲也 諸星和明 池田弘明	視聴覚を考慮に入れた三相誘導モーターのライフサイクルコストに関する意識調査	日本信頼性学会第19回春季信頼性シンポジウム発表報文集, セッション3 (試験、故障解析、部品、要素技術の信頼性、ハードウェア面), 3-1, pp.41~44	2011年6月
大野龍巳 村岡哲也 池田弘明	疑似三次元画像のコントラストを利用したLSI端子に対するハンダ付け性能の画像評価	日本信頼性学会第19回春季信頼性シンポジウム発表報文集, セッション2 (試験、故障解析、部品、要素技術の信頼性、ハードウェア面), 3-2, pp.45~48	2011年6月
村岡哲也 若松洋一 池田弘明	高集積化LSIパッケージにおけるカーボンナノチューブのリード実現に関する考察	日本信頼性学会第24回秋季信頼性シンポジウム発表報文集, セッション3 (試験、故障解析、部品、要素技術の信頼性、ハードウェア面(2)), 3-3, pp.43~46	2011年11月
村岡哲也 池田弘明	視聴覚による三相誘導モーターの故障検知に基づくライフサイクルコスト計算、— 具体的なデータによるモデルの検証 その2 —	日本信頼性学会第24回秋季信頼性シンポジウム発表報文集, セッション6 (システムの信頼性、保全性、ライフサイクルおよびソフトウェア面(2)), 6-1, pp.81~84	2011年11月
若井一顕	放送のデジタル化とコミュニティFM放送	霧島市経済同友クラブ講演	2011年7月
若井一顕	霧島発のコミュニティFM放送と地域ビジネス	霧島市公開講演	2011年10月
若井一顕	放送のデジタル化と展望 (企業内技術士としての歩み)	鹿児島工業高等専門学校特別講演	2012年2月
若井一顕	放送90年の歩みとデジタル技術の展開	鹿児島大学特別講演	2012年2月
仮屋孝二	時効硬化Al合金7075-T6の疲労き裂伝ばに及ぼす湿度変動の影響	(社)日本材料学会 第60回学術講演会 (大阪大学)	2011年5月
仮屋孝二	時効硬化Al合金の疲労き裂伝ば挙動に及ぼす湿度の影響	(社)日本機械学会 M&M 2011 材料力学コンファレンス (九州工業大学)	2011年7月
仮屋孝二	Effect of moisture on fatigue crack growth of age-hardened Al alloy	The Second China-Japan Joint Symposium on Fatigue of Engineering Materials and Structures Chengdu, China	October. 2011

発表者	題 目	雑誌名・講演会名	発表・開催年月
高 橋 竜 弥 伊地知 祐 哉 難 波 礼 治 高 橋 正 和 長 澤 郁 夫 山 下 晃 功	反復CS分析を導入した産業イベントの教材化への研究	日本産業技術教育学会中国支部 第40回大会 p.25 (備考) 研究発表奨励賞受賞 卒業研究テーマを発表 *筆頭2 名の著者は難波研究室卒業生, 現 鳥取環境大学大学院生と管清 工業株式会社	2011年6月
難 波 礼 治	環境を学ぼう	霧島市教育委員会生涯学習 ボランティアセンター研修会	2012年2月
福 島 順 一	R C 建築構造の設計	(社)日本建築構造技術者協会 (工学院大学)	2011年12月
福 島 順 一	鉄筋継手性能評価について (その1)	(社)日本鉄筋継手協会	2011年9月
福 島 順 一	鉄筋継手性能評価について (その2)	(社)日本鉄筋継手協会	2012年3月
西 嶋 啓一郎	都市設計者としての後藤新平が目指した都市像 (大会テーマ: 官民連携・地域資源と計画行政 - 大学の役割 -)	日本計画行政学会九州支部 第32回 (佐世保) 大会	2011年10月
新 藤 照 夫	初年次演習における主体的な文章作成への取り 組みと学生の 自己評価	日本リメディアル教育学会第7 回全国大会 (福岡大学)	2011年9月
新 藤 照 夫	企業の謝罪に見られる日米間の文化的差異	第13回東アジア日本語・日本文 化FORUM (韓国 仁川大学)	2012年2月

平成 24 年 3 月 印刷
平成 24 年 3 月 発行

編集兼 第一工業大学
発行者
鹿児島県霧島市国分中央1丁目10番2号
電話 (0995) 45 - 0640

印刷所 有限会社 大 和
鹿児島県霧島市国分中央3丁目15番17号
電話 (0995) 45 - 1020

