

平成 14 年度  
(第16回)

若い研究者を育てる会研究発表会

# 研究論文集

平成 15 年 3 月 19 日 (水)

於：名鉄トヤマホテル

若い研究者を育てる会

The Educational Society for Young Research Workers of Technology, in TOYAMA

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県工業技術センター  
富山大学工学部  
富山県立大学工学部  
富山医科薬科大学

## ご あ い さ つ

会長 武 内 繁 和

「若い研究者を育てる会」では恒例となりました研究成果報告である「研究論文集」を今年も発行のはこびとなりました。この「研究論文集」の発行は今回で16回目となるわけですが、これもひとえに大学の諸先生方や工業技術センター、財団法人富山県新世紀産業機構のお力添えがあってのことと感謝申し上げます。

ところで昨年、3年連続で日本人がノーベル賞を受賞しました。とりわけ若き企業研究者が受賞した

ということで、マスコミも従来にない過熱報道が続きましたが、この若き企業研究者である田中耕一さんが富山県で生まれ育ったということで、我々富山県人としてはさらに大きな喜びと誇りになりました。また、田中さんが話しているようにノーベル賞受賞の研究成果のベースには「富山県人気質の粘り強さ」があったということで、我々の研究活動を大いに勇気づけてくれる出来事だったと思います。

研究活動は、成果が得られれば脚光を浴びますが、そこに至るまではまさに地道な長い活動となります。また、一人よがりの研究を続けていても時間の浪費と徒労に終わることも少なくないと思います。より効率的に研究活動を続け、成果をあげるために、研究活動を支援する体制と指導者の存在が求められるところであります。こういう趣旨で、当「若い研究者を育てる会」は設立されたわけです。

この「研究論文集」の発行を機に、当会が今後ますます発展することを祈念するとともに、関係各位の変わらぬご支援をお願いして、発行に当たってのご挨拶とさせて頂きます。



## 研究の概要

本書は、『若い研究者を育てる会』に参加する企業（会員企業数15社）の研究者が8つの研究課題とグループを定め、平成14年5月から富山県工業技術センターにおいて、8グループ（8テーマ）が実施してきた研究の成果をまとめたものである。なお、8テーマの内2テーマについては、富山大学工学部が研究指導協力を行なった。ここでは、今年度実施した8テーマの研究概要を論文集掲載順に述べる（一部順不同）。

富山県工業技術センター機械電子研究所 工学博士 二口 友昭

①「圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発」研究グループ（参加企業1社）では、比較的高い濃度のマイナスイオン発生が可能な、コロナ放電方式のマイナスイオン発生装置の開発を行った。その特徴は、高電圧を得るために小型かつ安全で高効率な圧電トランスを用いたことと、効率的なマイナスイオンの発生が可能な放電部分の形状を採用した点にある。このために、コロナ放電に最適な高電圧の検討、圧電トランスを駆動するための電圧波形の検討、および放電針電極形状等について詳細な検討を行った。さらに、駆動電圧発生回路や整流回路を安価で少ない部品で形成し、乾電池で動作するマイナスイオン発生装置を作製した。



富山県工業技術センター機械電子研究所 工学博士 谷野 克巳

②「有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討」の研究グループ（参加企業1社）では、自動車やオートバイなどの排気ガス浄化の触媒担体を開発することを目的として、有機材料を出発原料としたハニカム構造体の炭化物の成形を第一の目標とし、耐熱性などの担体としての可能性について基礎的検討を加えた。この研究から、（1）高温過热水蒸気を用いた有機物の炭化で所定形状の炭化物を得ようとする時は、有機物としてセルロースや芳香環を持つ材料が適している、（2）炭化物の大気中の耐熱温度は450℃前後であり、高温排気ガス浄化の触媒担体として用いるのは難しい、及び（3）炭化物ハニカム担体は、自動車排気ガス用触媒には可能性は低いが、他の有機ガス用としての応用は可能である、などの成果が得られた。



富山大学工学部 工学博士 升方 勝己

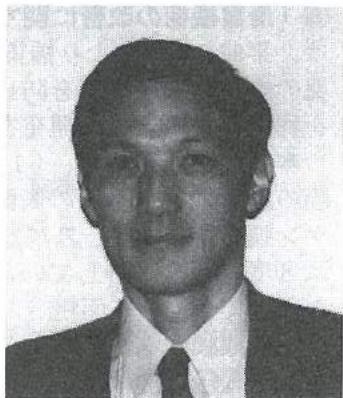
③「ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発（2）」の研究グループ（参加企業2社）では、小型化が容易でエネルギー変換効率に優れ、次世代電気自動車用電源や携帯電話用の超小型電源用などへの応用が期待されるダイレクトメタノール小型燃料電池の開発を行った。本研究では、昨年の成果をもとにして、これに電解質膜や触媒の改善を行なった。その結果、単位面積あたりの発生電力の大幅な向上を達成した。すなわち、温度・大気圧条件下で、酸素または空気を供給する条件でそれぞれ 92mW/cm<sup>2</sup>、56mW/cm<sup>2</sup> の最高出力密度を得た。これは、昨年の結果に対して一桁程度の改善である。さらに、出力のメタノール濃度に対する依存性や膜-電極接合体の劣化に対する評価を行なっており、実用化に向けた大きな進展が得られた。



富山県工業技術センターPJ推進担当 工学博士 藤城 敏史

④「体質診断用DNAチップと測定装置の開発(2)」の研究グループ

(参加企業3社)では、糖尿病と肥満になりやすい体質を取り上げ、これらの病気発病と関連のあるSNP's配列をプローブDNAおよびターゲットDNAとして用い、ハイブリダイゼーションの有無を高精度で検出するDNAチップの開発および電気化学的交流法による測定の確立を行った。この研究から、(1)親水性、ESCA分析結果からプローブDNAの固定化を確認した、(2)DNAチップの等価回路の実験から交流法による解析方法を確立し、DNAチップの測定結果と比較した。(3)交流法により、プローブDNAの固定化、ターゲットDNAとのハイブリダイゼーションの有無を確認した、などの成果が得られた。



⑥「アルミ飲料容器の形状評価手法の開発」の研究グループ(参加企業

1社)では、検査工程の自動化と測定精度の向上を視野において、画像処理技術を応用したアルミ飲料容器の形状評価手法の開発を行った。この研究から(1)照度差ステレオ法は、二次反射の影響を受けない対象物又は測定系において、比較的精度よく表面の傾きが測定できることがわかった、(2)アルミ飲料容器については、照度差ステレオ法の適用には解決すべき課題が残っているが、単純な形状の工業部品や平面の傾き等の測定には適用可能であることがわかった、(3)カメラによる画像を処理することから、オンライン計測や寸法など他の測定項目と組み合わせた複合検査システムへの拡張が可能である、などの成果が得られた。

富山大学工学部 工学博士 丹保 豊和

⑤「MEMSを応用した高精度温度センサの開発」の研究グループ(参加

企業1社)では、シリコン上にバルクと同じようなTCR(抵抗温度係数)を持つ白金薄膜センサの開発を目的に研究を進めてきた。白金薄膜はマグネトロンスパッタリング法によりシリコン上に3層の中間層を挟むことにより作製された。(111)方位に強く配向した白金膜は、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ の薄さで、 $3784\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の高いTCR値を示し、窒素雰囲気における $600^\circ\text{C}$ のアニール後でも、この値を保持した。さらに、マイクロマシニング技術を用いて、シリコン基板をダイアフラム構造に形成したセンサチップを作製し、他の基板で作製したセンサチップと熱応答性について比較、検討を行った。



富山県工業技術センター機械電子研究所 工学博士 佐山 俊彦

⑦「超小型4サイクルエンジンの開発」の研究グループ(参加企業2社)

では、環境負荷の低減に対する世界的な流れを背景とし、汎用4サイクルエンジンのさらなる小型・軽量化および高出力化による作業効率向上を目指して、排気量20cc以下の汎用4サイクルエンジンの開発を試みた。この研究の過程において、(1)高出力化のために、点火時期および吸気ポート径の設定が重要な因子であること、(2)十分な混合気を吸入するためには、バルブオーバーラップの適切な設定が必要であること、(3)ピストンのショートストローク化のみによるエンジンの小型化には限界があること、などの知見を得た。



富山県工業技術センターPJ推進担当 工学博士 高林 外広

⑧「滑雪機構の改善に関する研究」の研究グループ（参加企業2社）では、平成13年度より橋梁、道路標識、スノーシェッド等における雪氷塊の成長および落下を防止するため、光触媒酸化チタン膜の超親水作用を利用した滑雪板の開発を試みた。

本年度の研究から、(1)スパッタリングにより作製した酸化チタン膜の密着性は、基板の表面の性状により大きく変化する。(2)酸化チタン膜の親水性は、スパッタリング時の投入電力に影響されず、接触角は8度以下を維持していた。(3)滑雪性能において、表面粗さは重要な因子であり、表面粗さが大きいと滑雪性能は低下する。また、酸化チタンを成膜することにより、表面粗さの滑雪性能に対する影響を低減できる。(4)北陸地域における湿り雪に対しては、滑雪板として親水性の表面が良く、酸化チタンの超親水性は有効である。(5)スパッタリングによる酸化チタン膜は、高い光触媒活性を示すことから、長期間、滑雪性能を維持できるものと考えられる、などの成果が得られた。さらに、県土木部の協力により、本成果品を国道の既設標識およびスノーシェードに設置し、良好な結果を得ている。



以上、本書は8つの独立した研究課題と結果から構成されているが、これらの研究は必ずしも完成されたものではなく、今後も本会もしくはそれぞれの企業などにおいて、継続して研究を進めていく必要があるものと考えている。また、過去16年間で実施した102テーマの成果はすでに関連学会で発表、もしくは今年中に発表を予定している。特許出願に関しては、本会の研究は必ずしも企業化を目的とはしていないが、今年も1件の特許を出願している。

また、本研究で得られた成果の内の幾つかのものは、企業化されており、更に、ロボット技術などは生産ラインの自動化などに応用されている。従って、これらの研究を遂行する過程で得られた様々な成果は、本会会員企業ならびに本県産業の科学技術力、工業技術力向上と発展などのために十分に役立つものであることを確信している。

なお、本会の研究を推進するにあたり、内外の方々より多大なご助力、ご助言を賜わったことに対しまして、深く感謝の意を表します。

(谷野記)  
平成15年3月

# 研究グループの構成

## I. 圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発グループ

研究担当者 山田 英子（立山科学工業㈱）  
坂井 雄一（工業技術センター機械電子研）  
杉森 博（工業技術センター機械電子研）  
角崎 雅博（工業技術センター機械電子研）  
○☆二口 友昭（工業技術センター機械電子研）

## II. 有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討グループ

研究担当者 酒井 康弘（㈱タカギセイコー）  
○早苗 徳光（工業技術センター生活工学研）  
高松 周一（工業技術センター生活工学研）  
寺澤 孝志（工業技術センター機械電子研）  
☆谷野 克巳（工業技術センター機械電子研）

## III. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発（2）グループ

研究担当者 稲澤 直子（コーチセル㈱）  
石見 雅美（㈱齊藤製作所）  
○関口 徳朗（工業技術センター機械電子研）  
角崎 雅博（工業技術センター機械電子研）  
谷野 克巳（工業技術センター機械電子研）  
☆升方 勝己（富山大学工学部）

## IV. 体質診断用DNAチップと評価機器の開発（2）グループ

研究担当者 水原 崇（コーチセル㈱）  
碓井 洋平（立山科学工業㈱）  
米嶋 勝宏（東洋化工㈱）  
○寺澤 孝志（工業技術センター機械電子研）  
角崎 雅博（工業技術センター機械電子研）  
釣谷 浩之（工業技術センター機械電子研）  
牧村めぐみ（工業技術センター中央研）  
横山 義之（工業技術センター中央研）  
中川 章（工業技術センターPJ推進担当）  
谷野 克巳（工業技術センター機械電子研）  
☆藤城 敏史（工業技術センターPJ推進担当）

## V. MEMSを応用した高精度温度センサの開発グループ

研究担当者 今村 徹治 (北陸電気工業株)  
○鍋澤 浩文 (工業技術センター機械電子研)  
岩坪 聰 (工業技術センター機械電子研)  
小幡 勤 (科学技術特別研究員)  
藤城 敏史 (工業技術センターPJ推進担当)  
☆丹保 豊和 (富山大学工学部)

## VI. アルミ飲料容器の形状評価手法の開発グループ

研究担当者 清水 歩 (武内プレス工業株)  
○塙本 吉俊 (工業技術センター中央研)  
浅田 峯夫 (工業技術センター中央研)  
長柄 肇一 (工業技術センター中央研)  
中川 章 (工業技術センターPJ推進担当)  
☆藤城 敏史 (工業技術センターPJ推進担当)

## VII. 超小型4サイクルエンジンの開発グループ

研究担当者 杉森 雅一 (エヌアイシ・オートテック株)  
中西 智英 (田中精密工業株)  
○清水 孝晃 (工業技術センター機械電子研)  
森本 英樹 (工業技術センター中央研)  
藤井 弘之 (工業技術センター機械電子研)  
谷野 克巳 (工業技術センター機械電子研)  
☆佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)

## VIII. 滑雪機構の改善に関する研究グループ

研究担当者 野田 耕司 (三協アルミニウム工業株)  
河井 牧夫 (田中精密工業株)  
氷見 清和 (工業技術センター中央研)  
○☆高林 外広 (工業技術センターPJ推進担当)

註：各グループ中、企業名は50音順

○印は各研究グループのチーフ

☆印は研究幹事

# 目 次

I.	圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発	1
1.	緒 言	1
2.	マイナスイオンの発生方式と特徴	1
3.	放電部分の検討	2
4.	圧電トランスとその特性	3
5.	圧電トランスの駆動回路	6
6.	結 言	6
II.	有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討	7
1.	緒 言	7
2.	セラミックスハニカム担体	7
3.	実験方法	8
4.	実験結果	9
5.	結 言	12
III.	ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発 (2)	13
1.	緒 言	13
2.	DMFCの動作原理	13
3.	実験方法	13
4.	実験と考察	15
5.	結 言	18
IV.	体质診断用DNAチップと評価機器の開発 (2)	19
1.	緒 言	19
2.	DNA診断の概要	20
3.	実験方法	20
4.	実験結果・考察	22
5.	結 言	24
V.	MEMSを応用した高精度温度センサの開発	25
1.	緒 言	25
2.	センサチップの構造と温度測定原理	25

3. 実験方法	-----	26
4. 実験結果	-----	28
5. 結 言	-----	30
 VI. アルミ飲料容器の形状評価手法の開発		 -----
1. 緒 言	-----	31
2. 実験方法	-----	31
3. 実験結果	-----	33
4. 結 言	-----	36
 VII. 超小型4サイクルエンジンの開発		 -----
1. 緒 言	-----	37
2. エンジンについて	-----	37
3. 既存汎用エンジンの小型化	-----	38
4. 新規エンジンの設計・製作	-----	40
5. エンジンの運転及び検証	-----	42
6. 結 言	-----	42
 VIII. 滑雪機構の改善に関する研究		 -----
1. 緒 言	-----	43
2. 実験方法	-----	44
3. 実験結果及び考察	-----	45
4. 結 言	-----	48
 ○各研究グループの研究風景		 -----
		付-1
 ○「若い研究者を育てる会」16年間の研究活動の足跡		 -----
		付-9
 ○第9回『自作ミニチュアシン・サッカーゲームコンテスト』の概要		 -----
		付-19
 ○会員企業および研究幹事名簿		 -----
		付-20
 ○入会申込書		 -----
		付-21

# I. 圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発

Development of Minus Ion Generator Using Piezoelectric Transformer

山田 英子, 二口 友昭, 杉森 博, 坂井 雄一  
YAMADA Hideko, FUTAKUTI Tomoaki, SUGIMORI Hiroshi, SAKAI Yuichi

## Abstract

Recently, minus ions in the air have attracted the attention because of their physiological effect for the mental stress. It is thought that alpha waves are activated in a rain to relieve the tension when minus ions increase. The consumer electric equipments with minus ion generators such as hair dryer and air conditioner have been developed and sold extensively. There are three methods to generate the minus ions in the air. One of them is the corona discharging method, which generates the high concentration of minus ions (2,000,000/cc), and the size of particle is about 1nm. Another is the water spray method (water fall, Leonard effect), which generates the concentration of 200,000/cc and the size of particle is about 3nm. The last of them is the radioactivity method, which generates the low concentration of minus ions (2,000/cc).

In this study, we examined the position of needle of an electric discharge portion and the voltage impressed to needle. We also examined the voltage impressed to a piezoelectric transformer. The developed minus ion generator using the piezoelectric transformer performed by a 9 V battery and generated the high concentration of minus ions.

## 1. 緒 言

最近、マスコミやテレビのCMなどでマイナスイオンという言葉をよく耳にする。マイナスイオンには精神をリラックスさせる効果や生態機能を高める効果などがあると話題になり、それを売り物にした商品を多く目にするようになった。特に家電業界では、マイナスイオン発生機構搭載の空気清浄機やエアコン、ドライヤーと相次いで新しい製品が売り出されている。また、繊維製品でもマイナスイオンを発生するインテリアや寝具、下着、靴下など幅広い商品がでている。

本研究では、放電部分の針電極の最適な位置と放電部分に印加する電圧について検討し、放電部分の試作を行った。また、圧電トランスに印加する電圧についても検討を行い、圧電トランスを使用してマイナスイオン発生装置を作製した。

するマイナスイオン濃度は、数千個/cm<sup>3</sup>である。

また、マイナスイオンの構造については、不明な点も多いが、O<sub>2</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>と推測されている。電気的な発生の場合、その粒径は1nmでレナード効果の場合は3nmと言われている。本研究では、比較的発生量の多いコロナ放電を用いる方式を対象とした。

## <2. 2>コロナ放電の原理

空気中には、常にごく少数の電子とイオンが存在する。電子が電界によって十分に加速されると、空気中の中性分子と衝突し、中性分子から電子が飛び出す。その結果、飛び出した電子を得た中性分子がマイナスイオンになる。この現象を電離と言う。図1は、これを模式的に示す。

電離現象を起こさせるために、気中放電が利用される。気中放電にはさまざまな形態があるが、一つの分類法として、全路破壊と部分破壊に分けることができる。前者は、平板状電極、あるいは球電極どうしの組み合わせで発生する。図2に示すように、全路破壊では電極間の空間全体に渡って電離現象が進み、二つの電極が火花で結ばれる。これに対して、部分破壊は、電極として針対平板電極のような組み合わせを用いる場合に起こる。この場合は、電極間空間の電界は均一にならない。電荷は針電極側ではその先端に集まり、平板電極側では中心で密度が高いが、かなり広く電極表面に分布する。これは、針電極先端に電界の強い部分ができる事を示す。電極間の電圧を上昇していくと、針電極を用いた場合は平板電極の組み合わせの場合よりはるかに低い電圧で、まず針電極先端部の電界強度が空気の絶縁破壊強度を超えててしまう。この時、針電極先端部以外では絶縁破壊強度を超えてい

## 2. マイナスイオンの発生方式と特徴

### <2. 1>マイナスイオンの発生方式と特徴

マイナスイオンの代表的な発生方式には、3つのタイプがある。1つ目は、電気的にマイナスイオンを発生させる方式で、雷やコロナ放電などが挙げられる。この場合に発生するマイナスイオン濃度は、数百万～数千万個/cm<sup>3</sup>である。2つ目は、水が岩などに当たる時に小さな分子に拡散し、マイナスイオンが発生するレナード効果で、滝の付近や噴水などに発生する。この場合に発生するマイナスイオン濃度は、数十万～数百万個/cm<sup>3</sup>である。3つ目は、微量放射線が空気中の水分子に反応してマイナスイオンが発生する方式で、温泉地帯に多い鉱石に見られる。この場合に発生

ないので、針電極先端部だけで電離現象が起こり出す。

こうして針電極先端部で電子が発生する。針電極の印加電圧の極性が負極性であれば、負極性の電子はこの電離領域から電気力によって押しだされて外に飛び出し、空気中の酸素分子に付着してマイナスイオンとなる。このように部分的に電離現象が起こる放電をコロナ放電と言う。

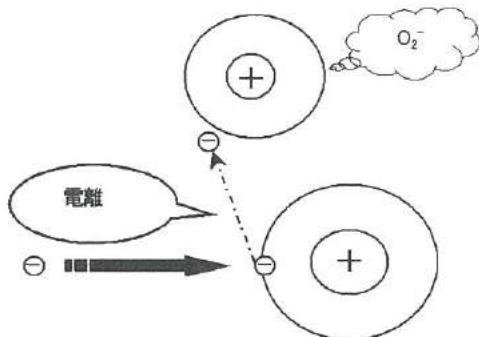


図1. 電離現象

Fig.1. Ionization phenomenon.

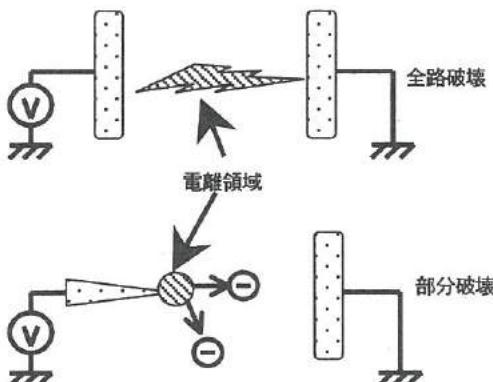


図2. 全路破壊と部分破壊

Fig.2. All way destruction and partial destruction.

### 3. 放電部分の検討

ここでは、マイナスイオンが効率よく発生する条件について放電部分の検討を行った。

#### <3. 1> 印加電圧

まず、放電部分に印加する電圧とマイナスイオン発生濃度の関係について実験した。測定方法は、図3に示すように、まず発振器で放電部分に印加する電圧の周波数を決め、バイアス付きアンプで印加電圧をGNDに対して負側にバイアスさせる。その電圧を高圧アンプに入れ、增幅させる。高圧アンプからは、マイナス数kVの交流電圧が输出される。その時の放電部分への入力波形をオシロスコープで確認後、マイナスイオンの発生濃度をマイナスイオンカウンタにて測定する。放電部分とマイナスイオンカウンタとの距離は25cmとした。

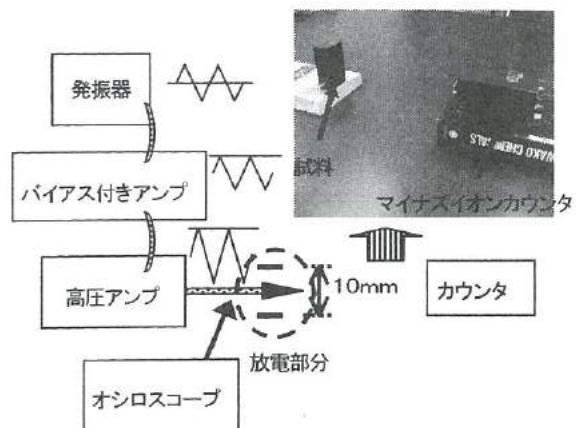


図3. マイナスイオン濃度の測定方法

Fig.3. Measuring method of the concentration of minus ions.

最初に、放電部分に印加する電圧を負側に可変させた時のマイナスイオン発生濃度を測定した。このときの入力波形は三角波で、その振幅は1kV、周波数は60Hzとした。その結果を図4に示す。横軸は測定時間、縦軸はマイナスイオン発生濃度を表している。印加電圧が負側に大きくなるほど、マイナスイオンが多く発生していることが分かった。

図5は、印加電圧の周波数を10Hz, 600Hz, 2kHz, 5kHzと可変させた時のマイナスイオン発生濃度を示す。このときの振幅は1kV固定であり、放電部分には-4～-5kVの三角波が入力されている。結果から、入力電圧の周波数によって発生濃度に大きな違いはないことが分かった。

図6は、印加電圧の最低電圧を-5kVに固定し、その振幅を0.25kV, 1kV, 2kVと可変させた時に発生したマイナスイオン発生濃度を示す。このときの入力波形は、三角波で周波数は60Hzである。又、直流-5kVについても測定した。この結果から、入力電圧の振幅が小さく直流に近い程、マイナスイオンが多く発生する傾向が確認された。

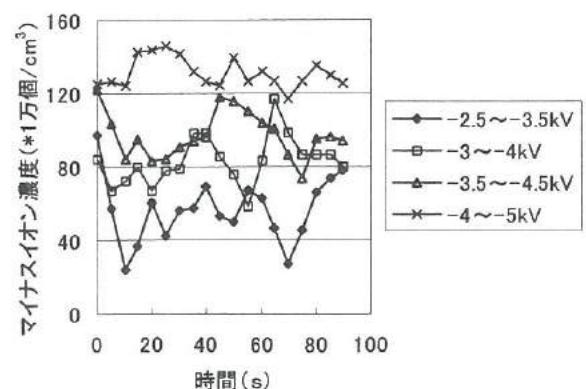


図4. 入力電圧のバイアスによるマイナスイオン発生濃度

Fig.4. Concentration of minus ions generated by different input voltage bias.

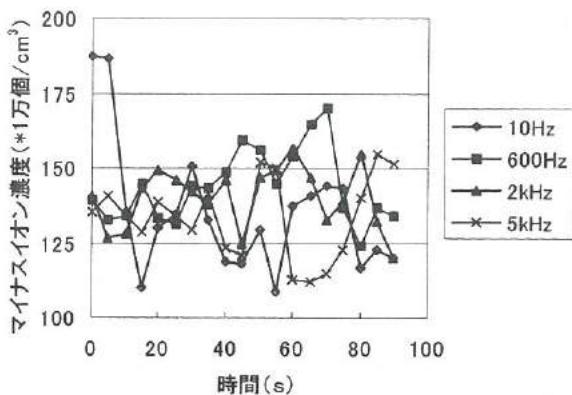


図5. 入力電圧の周波数によるマイナスイオン発生濃度  
Fig.5. Concentration of minus ions generated by different input voltage frequency.

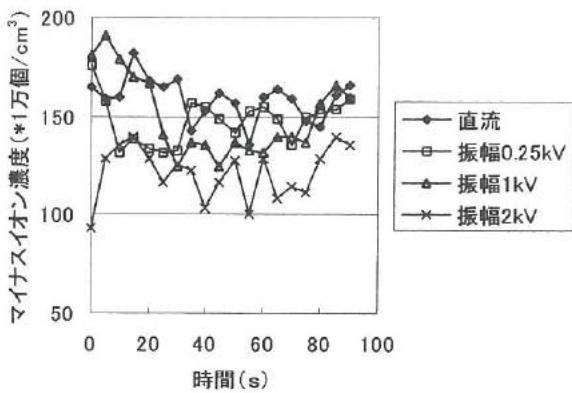


図6. 入力電圧の振幅によるマイナスイオン発生濃度  
Fig.6. Concentration of minus ions generated by different input voltage amplitude.

### <3. 2>針電極の位置

図7は、放電部分の拡大写真を示す。放電部分は、針電極とリング状のGND電極から構成される。針電極の位置を変えた場合のマイナスイオンの発生濃度を測定した。図8は、針電極の位置を示す。GND電極の端を基準に外側に出した時を+方向、内側

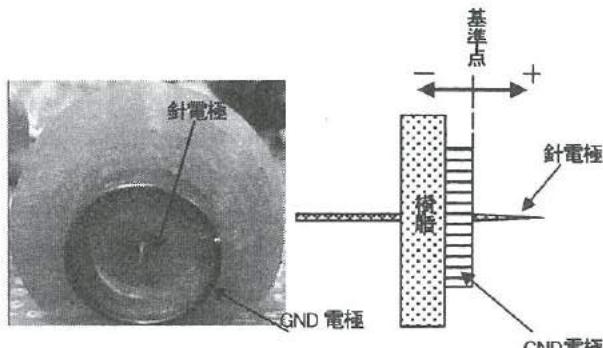


図7. 放電部分

Fig.7.Electric discharge portion.

図8. 針電極の位置

Fig.8.Position of the needle

にした時を-方向とし、GND電極端から針先端までの距離を-2.15mm、0mm、+1.15mm、+2.15mm、+3.15mmと変えてマイナスイオンの発生濃度を確認した。このとき、放電部分に印加する電圧は、-5kVの直流である。図9にその結果を示す。マイナスイオンが一番多く発生したのは、+2.15mmの時で、-2.15mmの時は一番悪い結果になった。このことから針電極先端からGND電極端までの距離が同じでも、針を外側に出した場合に、マイナスイオンが多く発生する事が分かる。また、針電極先端からGND電極端までの距離が大きくなると、マイナスイオンの発生濃度も増加し、+2.15mmを超えると減少していった。この結果から、針電極の位置によってマイナスイオンの発生濃度が変わるという事と、GND電極に対して、針電極をある程度外側に出した状態の方が多く発生し、最適な位置があるという事が分かった。

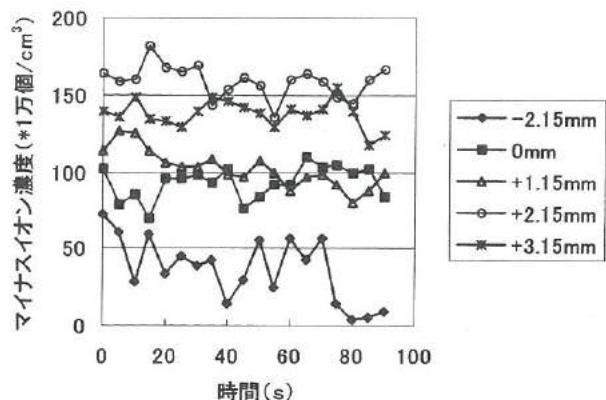


図9. 針電極の位置によるマイナスイオン発生濃度  
Fig.9. Concentration of minus ions generated by different position of the needle.

### 4. 压電トランジストとその特性

#### <4. 1>压電トランジストの構造

ローゼン型压電トランジストの動作について述べる。図10はローゼン型压電トランジストの構造を示す。ローゼン型压電トランジストは、中心から左半分につけられた電極を入力部とし、反対側につけられた電極を出力部としている。ローゼン型压電トランジストは、入力部は厚み方向に、出力部は長手方向に分極処理されている。本トランジストでは、压電セラミックスの横効果振動と縦効果振動を利用して電力伝送を行っている。压電セラミックス板の分極方向と平行な外部電界を与えた時に分極方向と垂直な方向に伸縮の振動を起こす効果が横効果振動、分極方向と平行に生じる振動が縦効果振動である。図11に横効果振動および縦効果振動の詳細を示した。

ローゼン型压電トランジストの入力部では压電逆効果によって電気振動が機械振動に変換され、出力部では、压電正効果によって機械振動が電気振動に変換される。压電トランジストの動作は、振動の機械的共振によって行われている。ローゼン型压電トランジストの

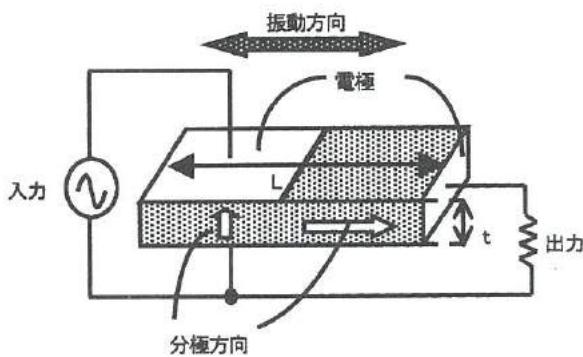


図10. ローゼン型圧電トランスの構造  
Fig.10. Structure of Rosen's design piezoelectric transformer.

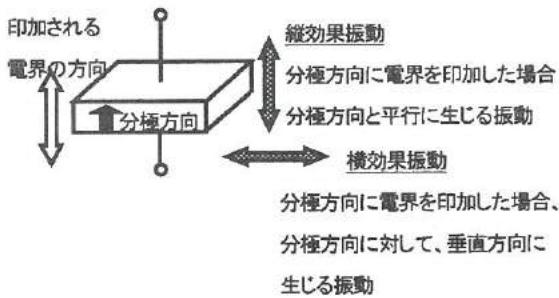


図11. 圧電セラミックスの縦効果、横効果振動  
Fig.11. Vertical and horizontal vibration of piezoelectric ceramics.

場合、入力部では横効果振動を発生させ、その振動はトランスの長手方向に伝達される。この振動がトランスの長手方向と共振を引き起こした場合に電力伝送の効率が高くなる。

また、出力開放状態での圧電トランスの昇圧比は、式(1)のように書くことができる。すなわち、共振周波数近傍では昇圧比は、トランスの長さと厚みの比、電気機械結合係数、機械的品質係数に比例することが分かる。

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{4}{\pi^2} \cdot Q_m \cdot k_{31} \cdot k_{33} \cdot \frac{L}{t} \quad \dots (1)$$

$Q_m$  : 機械的品質係数  
 $L$  : 圧電トランスの長さ  
 $t$  : 圧電トランスの厚さ  
 $k_{31}, k_{33}$  : 電気機械結合係数

#### <4. 2> 圧電トランスの昇圧特性

図12は、今回作製したローゼン型圧電トランスの特性を示す。ローゼン型圧電トランスの入力電極には、30Vp-p、102kHzの正弦波を印加した。100MΩの高圧プローブを使って出力電圧を測定したところ、3.5kVp-pの電圧が発生しており、昇圧比は100倍

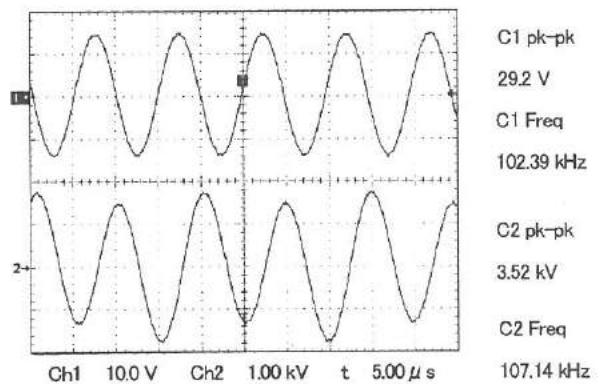


図12. 圧電トランスの入出力特性  
Fig.12. Input-and output characteristic of the Rosen type piezoelectric transformer.

であることが確認された。

#### <4. 3> 整流回路をつけたときの圧電トランスの特性

整流回路を接続した時の圧電トランスの特性を確認した。測定方法を図13に示す。圧電トランスに入力する電圧を発信器とバイアス付きアンプで決める。発振器の周波数は、圧電トランスの共振周波数に合わせ、バイアス付きアンプは、入力電圧のバイアスを変える。整流回路は、高圧用のダイオード2つとコンデンサから成っており、交流電圧を負側の直流に変換する。又、入力波形は発信器で変える。

本研究では、圧電トランスへの入力波形が正弦波と方形波で出力電圧に違いが見られるかどうかと、圧電トランスへの印加電圧を、GNDを中心にして正負両方に印加した場合と、正側だけに印加した場合の違いについて確認した。測定ポイントは、圧電トランスの出力側Aと整流回路の出力側Bの2箇所を測定した。

圧電トランスの入力波形が正弦波と方形波で出力電圧に違いがみられるか確認した結果を図14、図15に示す。図14は、圧電トランスの出力側A、図15は、整流回路の出力側Bで確認した結果である。グラフの左側は、圧電トランスの入力に正弦波、右側は方形波を入力した場合である。また、グラフの上側が圧電トランスへの入力電圧で下側が出力電圧を表している。結果から、入力波形によって出力電圧に違いは確認されなかった。

圧電トランスへの印加電圧を、GNDを中心にして正負両方に印加した場合と、正側だけに印加した場合の違いについて確認した結果を図16、図17に示す。図16は、圧電トランスの出力側A、図17は、整流回路の出力側Bで確認した結果である。また入力波形は方形波で、グラフの左側が圧電トランスへの印加電圧を、GNDを中心にして正負両方に印加した場合で、右側が正側だけに印加した場合である。また、グラフの上側が圧電トランスへの入力電圧で下側が出力電圧を表している。この結果から、入力電圧をGNDから正側だけに印加した場合でも、正負両方に印加した場合と比較して出力電圧に違いは見られなかった。

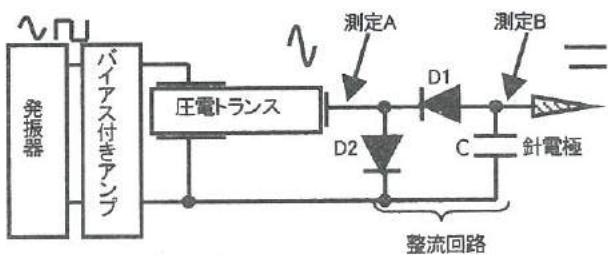


図13. 整流回路をつけた圧電トランスの特性測定方法  
Fig.13. Measuring method for the characteristic of the piezoelectric transformer with a rectification circuit.

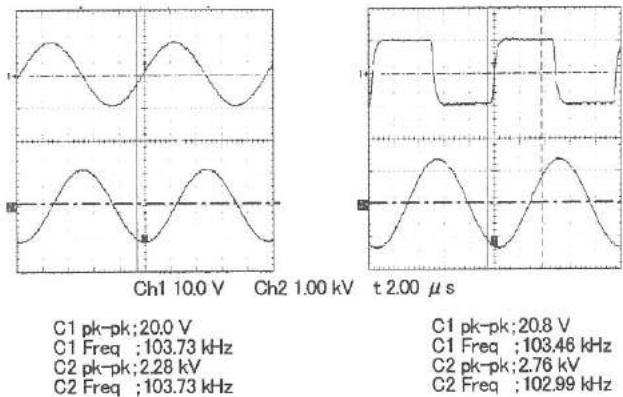


図14. 正弦波と方形波の違い(測定点 A)

Fig.14. Difference between sine wave and a rectangular wave in a piezoelectric transformer output end (A)

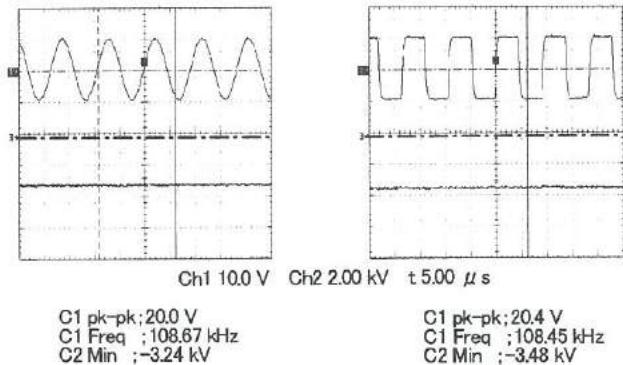


図15. 正弦波と方形波の違い(測定点 B)

Fig.15. Difference between sine wave and a rectangular wave in a rectification circuit output end.(B)

#### <4>負荷依存性

圧電トランスは負荷インピーダンスが無限大の時は非常に高い昇圧比を得ることができ、また負荷インピーダンスが小さくなると昇圧比も減少するという特性があるため、圧電トランスの入力電圧の振幅を変えた時に整流回路の出力側Bの電圧を、 $100\text{M}\Omega$ の高圧プローブを使って測定した場合と  $10\text{G}\Omega$ の高圧抵抗を用い

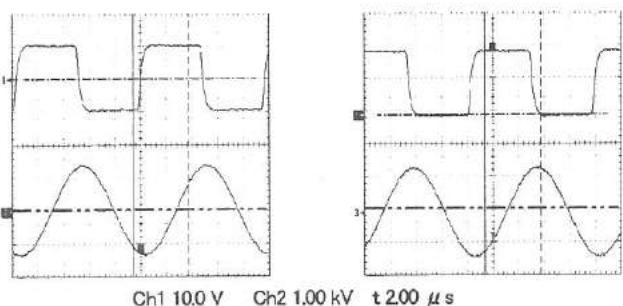


図16. バイアス変化による違い(測定点 A)  
Fig.16. A difference according to input voltage bias change in a piezoelectric transformer output end (A)

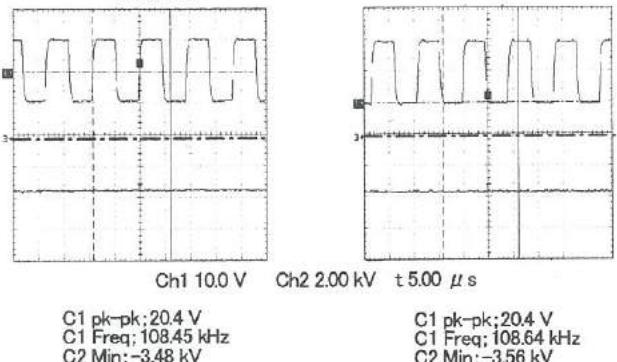


図17. バイアス変化による違い(測定点 B)  
Fig.17. A difference according to input voltage bias change in a rectification circuit output end.(B)

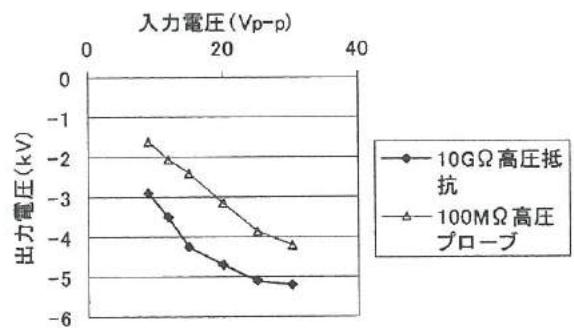


図18. 整流回路をつけた時の圧電トランスの入出力特性  
Fig.18. Input-and output characteristic of the piezoelectric transformer with a rectification circuit.

て分圧法で測定した場合の2通りの方法で確認した。このときの入力波形は正弦波とした。図18にその結果を示す。この結果から、本研究のような放電型の場合、圧電トランスの出力電圧を測定するには、なるべく無負荷に近い状態で測定する必要があり、

100MΩの高圧プローブを用いるよりも 10GΩの高圧抵抗を用いて分圧法で測定した方が、放電時の針電極への印加電圧をより正確に知ることができることが分かった。また、図18より、整流回路の出力側Bに-5.0kV 前後の直流電圧を得るために圧電トランクスの入力電圧が20~30Vp-p程度必要であることが分かった。

## 5. 圧電トランクス駆動回路

試作したマイナスイオン発生装置の回路図を図19に、外観写真を図20に示す。図19において、①は圧電トランクスを駆動する矩形波発振回路である。圧電トランクスの発振回路として、圧電トランクスの機械的共振周波数とかなり正確に同期する発振回路を設ける必要がある。今回は、可変抵抗を調整することで発振回路の周波数を可変できるようにした。発振回路①の出力は、電圧・電流增幅回路②により圧電トランクス③を駆動するのに十分なレベルに電圧・電流増幅され、圧電トランクス③の1次側電極に入力される。今回の回路では、適当な濃度のマイナスイオンを発生させることを考慮して、圧電トランクスへの入力電圧を30Vp-p,

電流は30mA以上となるように設計を行った。以上の電圧を圧電トランクス③の一次側に入力すると、圧電効果により昇圧された出力電圧は2次側電極から取り出され、整流回路④で負側の直流に変換される。整流回路④から出力された直流高電圧を放電部分に印加すると、放電が起きる。また、⑤は、9V入力30V出力のDC-DCコンバータであり、⑤の出力を電圧・電流增幅回路に接続する。DC-DCコンバータの入力は、9V入力であり、回路全体を9Vの乾電池1個で駆動させることができた。また、整流回路の出力電圧を、10GΩの高圧抵抗を用いて分圧法で測定したところ、-5.0kVの直流が発生しており、図6に示した直流の場合と同等レベルのマイナスイオンが発生した。

## 6. 結 言

本研究では、圧電トランクスを用いたマイナスイオン発生装置の開発について検討したところ、以下の成果が得られた。

- ① マイナスイオンを効率よく発生させるために、放電部分について検討を行った結果、放電部分に印加する電圧は、交流電圧よりも直流電圧の方が効率よく発生することが分かった。また、針電極の位置によってマイナスイオンの発生濃度が変わり、最適な位置があるという事が分かった。
- ② 圧電トランクスへの入力電圧について検討を行った結果、入力波形を方形波とした場合でも、正弦波とした場合と比較して圧電トランクスの出力電圧は変わらなかった。また、入力電圧をGNDから正側だけに印加した場合でも、正負両方に印加した場合と比較して圧電トランクスの出力電圧は変わらなかった。
- ③ 圧電トランクスは、負荷によってその昇圧比が変化するため、出力電圧を測定する際には、無負荷に近い状態で測定する必要があった。
- ④ 圧電トランクスとこれを最適な状態で駆動させる回路及び、適正な放電電極を用いることによってマイナスイオン発生装置を開発した。その結果、9Vの乾電池1つで動作し、比較的高濃度のマイナスイオンを発生させるものが作製された。

## 文 献

- (1) 琉子友男, 佐々木久夫, 日本住宅環境医学会, 「空気マイナスイオン応用事典」, (2002)
- (2) 村田雄司, 日刊工業新聞社, 「静電気の基礎と帯電防止技術」, (1998)
- (3) 河村典彦, 「マイナスイオンの粒径制御に関する研究」, 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, (1999), 350-351
- (4) 塩崎忠, 株式会社シーエムシー出版, 「強誘電体材料の開発と応用」, (2001)

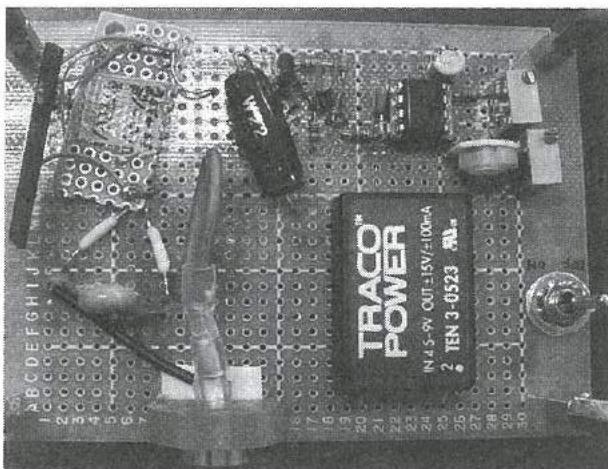


図20. マイナスイオン発生装置の外観  
Fig.20. Appearance of minus ion generator.

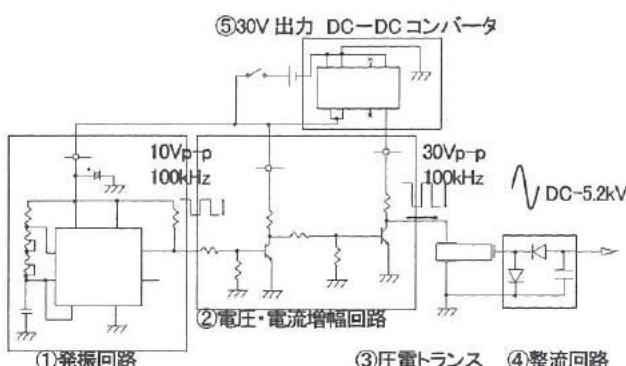


図19. マイナスイオン発生装置回路図  
Fig.19. Circuit diagram of minus ion generator.

## II. 有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討

Examination of the Exhaust Gas Absorption Material Used Organic Material

酒井 康弘  
SAKAI Yasuhiro

早苗 徳光  
SANAE Norimitsu

高松 周一  
TAKAMATSU Shuichi

寺沢 孝志  
TERASAWA Takashi

谷野 克巳  
TANINO Katsumi

### Abstract

We examined the possibility of the application to the car exhaust catalyst carrier of the carbonic material. As a result, it was found that cellulose and the phenol resin was the suitable raw material for the carbonic material. It was also clearly that the carbonic materials were endured equal to or more than ca. 800°C under the oxygen-less atmosphere and ca. 400°C under the atmosphere. Based on these results, we obtained the carbon honeycomb formation article by using a phenol resin and paper for raw materials.

### 1. 緒 言

近年、世界的に地球環境問題に関する関心が高まり、環境保全対策の目的から自動車、産業設備などからの有害排気ガスの低減化が求められ、規制が強化されている。その規制に対応するために、様々な排気ガスの浄化装置の開発がされている。現在、自動車やオートバイなどの排気ガス浄化の触媒担体には、アルミナ系セラミックスのハニカム構造体が用いられており、自動車排ガスの浄化に欠くことのできない重要な部品になっている。そのハニカム構造の担体を有機材料でつくることができれば、軽量化、成形性、形状の自由度などのメリットがあるのではないかと考えられる。

本研究では、炭化物を中心にハニカム構造体の成形を第一の目標とし、耐熱性等、担体としての可能性を検討した。

による激しい振動に対する機械的強度やエンジン出力の低下を最小限に押さえるために通気抵抗の小さいものが必要となる。

現在、主流となっている担体材料はコーチュライト ( $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot 2\text{MgO}$ ) 物質であり、形状としてはハニカム構造が用いられている。このハニカム構造セラミックスの製造工程は原料調整、混合、混練、成型および焼成工程からなる。原料はカオリノ、アルミナ、タルクからなり、焼成によりコーチュライトが生成する。成型工程は押出成型法が適している。この成型法は他の成型法よりも強度、熱膨張率の物性面でメリットがある。図1に日本ガイシ㈱のセラミックスハニカム担体の外観を示す。

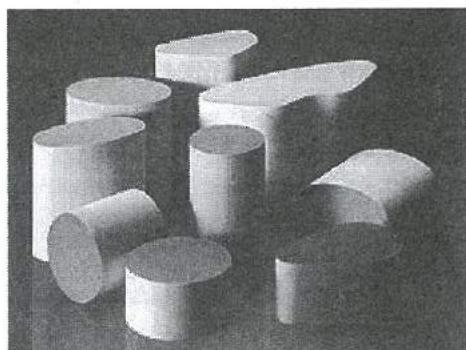


図1 セラミックスハニカム担体(日本ガイシ㈱)

Fig.1. Ceramics honeycomb carrier (NGK)

### 2. セラミックスハニカム担体

自動車の排ガス中には光化学スモッグの原因となる炭化水素 (HC) やノックス (NO<sub>x</sub>)、一酸化炭素 (CO) などが含まれている。自動車の排ガス浄化のため、炭化水素と一酸化炭素を酸化して炭酸ガスと水に変え、酸化窒素を還元して窒素に変える反応を同時に進める触媒が開発され、実用化している。触媒としては、白金 (Pt)、パラジウム (Pd)、ロジウム (Rh) などの貴金属を組み合わせた三元触媒が利用されて、これら触媒物質を表面に保持して、浄化すべき排ガスと接触させる役割を担っているものを触媒担体とよぶ。自動車の触媒担体は、常温から 1000°C 以上の高温かつ温度変化に耐え、1秒でも早く触媒が働くように熱容量が小さいことが要求される。さらに、エンジンや車の走行

### 3. 実験方法

#### <3. 1> 材 料

炭化素材は、木質系材料としてアガチス、スギ、カラマツ、ブナ、ケヤキ、コナラおよびキリ、熱可塑性樹脂としてペレット形状の ABS、ABS／木粉入り、PC／ガラス入り (PC/G) および

PC/ABS、熱硬化性樹脂としてフェノール、メラミン、尿素、不飽和ポリエステル系 FRP (FRP-UP)、エポキシ系 FRP (FRP-EP) およびジシクロペントジエン (DCPD) の成形品の切出し片ならびに、瀝青系材料として軟質、ゴム添加および硬質アスファルトを用いた。

炭化物ハニカム構造体の成形試作には、液状フェノール樹脂 (KOLON CHEMICAL CO., LTD. 製 KRP-L7000)、フェノール用硬化剤 (KPH-L770) および濾紙を用いた。

### <3. 2> 炭化方法

#### (1) 水蒸気炭化処理

図2に示す過热水蒸気炭化装置を用いて水蒸気雰囲気で炭化処理をした。炭化方法は、サンプル加熱槽内にサンプルを設置し、加熱槽外側に蓄熱槽で発生した過热水蒸気を導入して槽内が150°Cに達した後、過热水蒸気を加熱槽内部へ導入して加熱槽内を400°Cにまで加熱し、400°C、1時間の熱処理を施した。

#### (2) 高温炭化処理

図3に示すマッフル炉を用いて窒素雰囲気で炭化処理をした。炭化方法は、炉内に水蒸気炭化処理により炭化したサンプルを設置し、炉内に窒素ガスを導入しながら800°Cまで加熱し、800°C、1時間の熱処理を施した。また、サンプル内の残存酸素を除去し、窒素ガス雰囲気を高めるため、サンプルを蓋付のセラミックス容器に入れ、容器内を真空ポンプにより真空状態にした後、窒素をページし、その容器ごとマッフル炉内で加熱する方法も試みた。

### <3. 3> 評価方法

#### (1) 炭化形状と炭化收率

ハニカム構造担体を成形する炭化材料を検討するために、各種材料を過热水蒸気炭化装置にて炭化処理し評価した。炭化形状は目視で評価した。また、炭化收率は各種材料の炭化処理前の試料重量に対する炭化後の残存重量の割合で評価を行った。

#### (2) 熱分析による耐熱性評価

炭化物の耐熱性をTG(熱重量分析)により評価した。測定条件は、昇温スピード=10°C/min、測定温度範囲=室温~1000°Cおよび、ガス雰囲気=アルゴンガスとした。

### <3. 4> 成形方法

#### (1) 光造形によるハニカム構造体試作

現在用いられているハニカム構造体の寸法(壁ピッチや壁厚等)確認するため、光造形により、樹脂製ハニカム構造体を試作した。成形条件は、空孔形状は正方形とし、壁厚50μm、壁ピッチ1mm、全体サイズ長さ20mm×幅20mm×高さ20mmとした。装置は、富山県産業高度化センター所有の光造形機(ディーメック製SCS-1000HD)を使用した。造形用紫外線硬化樹脂は、専用のエポキシ系樹脂を用いた。

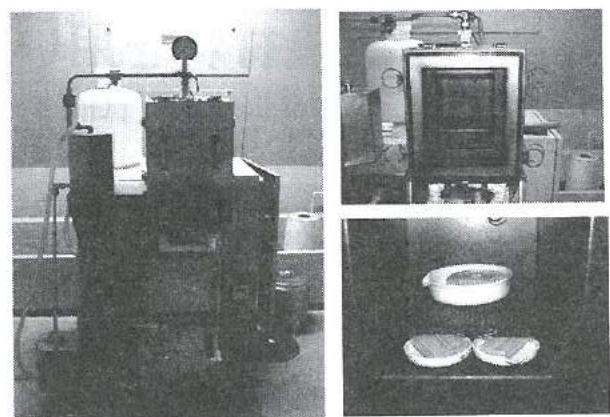


図2 過热水蒸気炭化装置

Fig.2. Overheating steam carbonization equipment

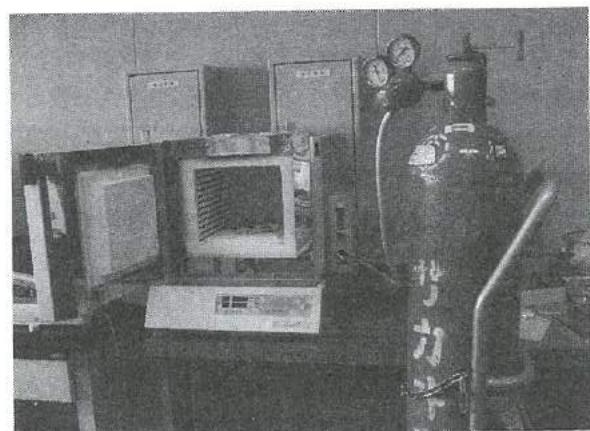


図3 マッフル炉炭化装置

Fig.3. Muffle furnace carbonization equipment

光造形は、図4に示すようにモデルデータに基づき、紫外線レーザーがタンク内の樹脂液の表面に断面形状を描き、レーザー光線が当たった部分は化学反応を起こして、液体から固体に硬化し、加工部分では連続的に幾層もの薄い断面体を積層して、3次元モデルを形成していく方法である。

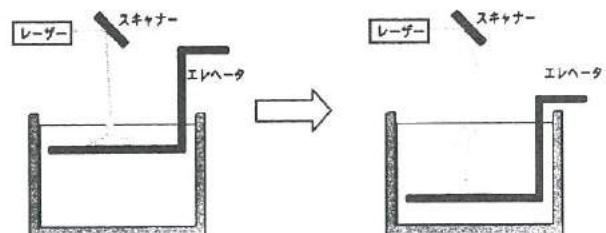


図4 光造形概略図

Fig.4. Outline figure of optical molding system

## (2) 樹脂系ハニカム構造体成形

フェノール樹脂とセルロース系材料を用いてハニカム構造体の成形方法を検討した。フェノール樹脂は、フェノール樹脂液と硬化剤を100:8で混合して硬化させた。ハニカム構造体の成形は、下記の4つの方法で試みた。

### (a) ポリエチレンチューブを用いた方法 (A法)

- ①フェノール樹脂液の入った容器にポリエチレンチューブを並べて配置する。
- ②室温で硬化させた後、80°Cで乾燥、アフターキュアする。

### (b) 紐を用いた方法 (B法)

- ①紐をロウに浸漬して、垂直に吊るして固める。
- ②紐をフェノール樹脂液でコーティグし、硬化させる。
- ③フェノール樹脂の液体の入った容器に並べて配置する。
- ④室温で硬化させた後、80°Cで乾燥、アフターキュアする

### (c) ポリウレタンフォームを用いた方法 (C法)

- ①リウレタンフォームにフェノール樹脂液を含浸させる。
- ②ポリウレタンフォームの空気を十分に追い出す。
- ③余分な樹脂を除去する。
- ④室温で硬化させた後、80°Cで乾燥、アフターキュアする。

### (d) 濾紙を用いた方法 (D法)

- ①濾紙にフェノール樹脂液を含浸させる。
- ②含浸した濾紙を波形状の金型ではさんで成形する。
- ③室温で硬化させた後、金型から取り出しフェノール樹脂で何層にも積層して接合する。
- ④室温で硬化させた後、80°Cで乾燥、アフターキュアする。

## 4. 実験結果

### <4. 1> 水蒸気炭化処理における炭化形状と炭化收率

各種材料の炭化形状と炭化收率評価の結果を表1、炭化したもの写真を図5に示す。木質系材料の炭化物は、いずれも炭化形状を保持しており、炭化收率は約25~30%であった。熱可塑性樹脂は、PC/G以外は、いずれも溶融・液状となり、炭化形状が保持されなかった。熱硬化性樹脂は、DCPDは、崩れ状態になっていたが、その他の樹脂は、形状を保持しており、フェノール樹脂においては、60%の高い炭化收率がみられた。瀝青系材料においては、硬質アスファルトでは、炭化收率は63%と高い收率を示したが溶融・液化したため、そのまでの単独使用は難しいと考えられる。

これらの結果より、炭化收率の面ではセルロースやリグニンを主成分とする木質系材料、アクリロニトリル成分や芳香環を持つPC/ABS系やフェノール樹脂、硬質アスファルトが優れている。また、炭化形状の面からは、木質系およびフェノール樹脂が優れていることが分かった。したがって、樹脂系ハニカム材料にはこれらの材料を用いて検討することにした。

表1 各種材料の炭化形状と炭化收率

Table 1. Carbonization shape and yield  
of various material

炭化材料	炭化形状	炭化前重量(g)	炭化後重量(g)	炭化收率(%)
木質系	アガチス	保持	11.890	3.480
	スギ	保持	10.580	3.137
	カラマツ	保持	17.114	5.217
	ブナ	保持	16.530	3.938
	ケヤキ	保持	17.631	4.613
	コナラ	保持	23.477	6.755
	キリ	保持	7.522	1.894
熱可塑性樹脂	ABS	溶融	1.134	0.419
	ABS/木粉	溶融	1.919	0.137
	PC/G	保持	1.601	0.902
	PC/ABS	溶融	1.346	1.147
熱硬化性樹脂	フェノール	保持	0.900	0.543
	メラミン	保持	1.723	0.247
	尿素	保持	3.478	1.237
	FRP-UP	保持	3.761	0.945
	FRP-EP	保持	5.153	4.235
	DCPD	崩れ	1.527	0.683
瀝青質系	軟質アスファルト	溶融	1.100	0.297
	ゴム添加アスファルト	溶融	0.653	0.158
	硬質アスファルト	溶融	1.131	0.712

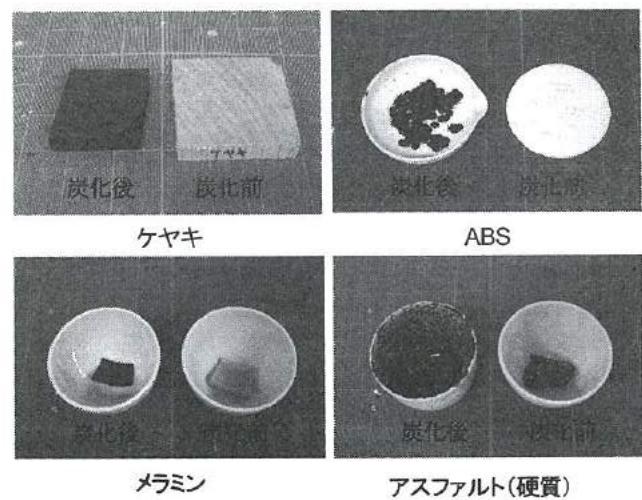


図5 各種材料の炭化形状

Fig.5. Carbonization shape of various material

#### <4. 2> 高温炭化処理

自動車の排気ガスを想定し、さらに高い温度での処理を試みた。図6に一端過熱水蒸気により炭化した木質系炭化物サンプルを炉内に直接設置し、窒素雰囲気下800°Cで1時間加熱処理後のサンプルの状態を示す。サンプルの内部は、炭化物の状態を保っていたが、周囲は灰化が著しく、かなりの体積減少がみられた。備長炭などの炭は、一般に700°C以上で処理をされていることから、炉内の窒素置換が充分ではなかったか、炭内部に存在していた酸素によるものではないかと考えられる。

そこで、窒素雰囲気を高めるためにセラミックス容器内にサンプルを設置し、容器内を真空にした後、窒素ガスを導入し、容器内とサンプル内を窒素置換して、容器ごとマッフル炉に設置、上記と同様に処理した。処理後のサンプルの状態を図7に示す。高温炭化処理による重量減少の割合は、32%程度であり、灰化もないことがわかった。したがって、炭化物は、無酸素雰囲気下であれば、高温化でも充分に耐えられる材料であることが示唆された。

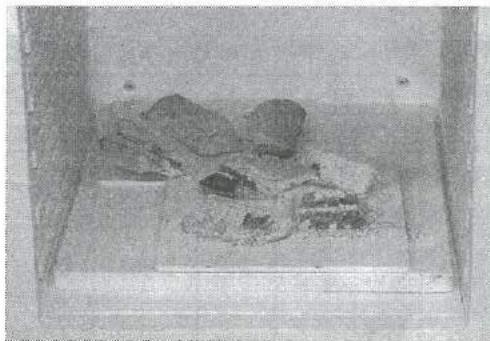


図6 高温炭化処理後のサンプル

Fig.6. Sample after carbonization processing of high temperature

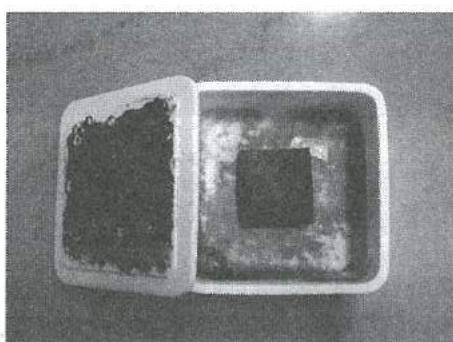


図7 高温炭化処理後のサンプル

Fig.7. Sample after carbonization processing of high temperature

#### <4. 3> 炭化材料の耐熱性評価

炭化物の耐熱性をTGにより調べた。サンプルとして木質系水蒸気炭化物とフェノール樹脂水蒸気炭化物を用いた。その結果を図8、9に示した。木質系炭化物はアルゴンガス不活性雰囲気においても、350°C付近から質量減少がみられ、750°Cでほぼなくなってしまった。フェノール樹脂炭化物においては、450°C付近から質量減少がみられ、750°Cでほぼなくなることがわかる。これは、分析機内の酸素が充分に除去されなかつたためと考えられる。また木質系炭化物については、水蒸気炭化時の処理温度が400°Cに達していなかつたことも影響していると思われる。

しかし、実際の排気ガスが無酸素状態であるとは限らず、エンジン停止後に外から酸素が流入することなども考えられることから、実用の使用可能温度域は、400°C前後となると考えられる。400°C前後での使用ということでは、畜産関連、食品加工分野などの有機ガス用の触媒担体として利用することが可能と思われるが、自動車用排ガス用としては、現状の炭化物では可能性が低いのではないかと思われる。

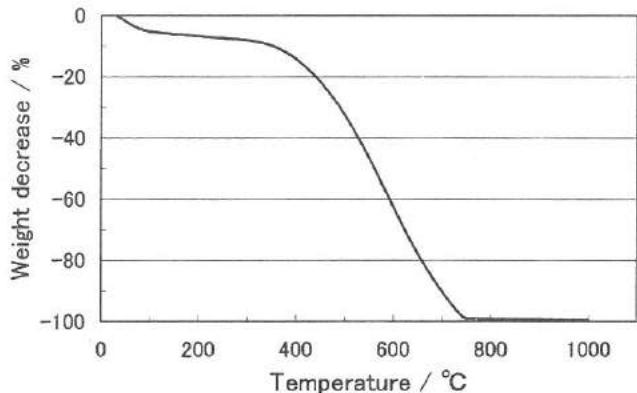


図8 木質系炭化物のTG

Fig.8. TG of ligneous system carbide

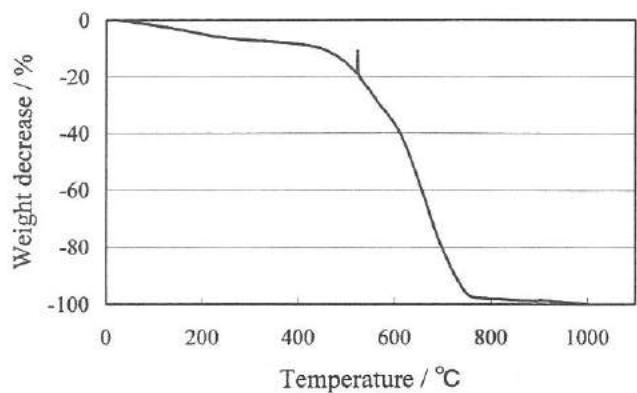


図9 フェノール樹脂炭化物のTG

Fig.9. TG of phenol resin carbide

#### <4. 4> 光造形によるハニカム構造体試作

現在用いられているセラミックスハニカムの形状を把握するために、光造形による樹脂のハニカム構造体を試作した。試作品の写真を図10に示す。非常に精密な構造になっていることがわかり、専用の成形装置等を使用しない限り成形できないものと思われた。したがって、以後の樹脂系のハニカム構造体を成形するにあたっては壁厚や壁ピッチを大きく取り、手作業でも試作できる寸法・形状とした。

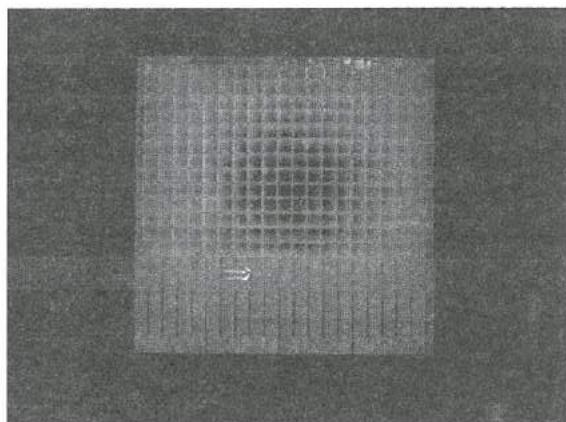


図10 光造形によるハニカム構造

Fig.10. Honeycomb structure in thin wall by optical molding

#### <4. 5> 樹脂系ハニカム構造体の炭化物

図11は各成形方法により成形したフェノール樹脂とセルロース系のハニカム構造体の写真を示す。

A法にて成形した写真では、ポリエチレンチューブの中のフェノール樹脂は抜けるが、ポリエチレンチューブは、外側のフェノール樹脂の収縮により抜けなかった。これについては炭化時の溶融で除去することにした。

B法により成形したものは、乾燥時に紐を抜くことにしていたが、炭化時に除去することにした。

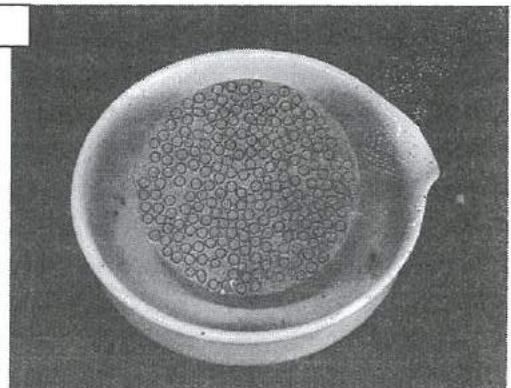
C法については、フェノール樹脂の粘度が高く、ウレタンフォームへの含浸が完全でなかったため、バキュームアシスト等で工夫して含浸を行った。

D法については、濾紙にフェノール樹脂を含浸させ、型を用いて波板状に成形した後、重ね合わせて接合した。

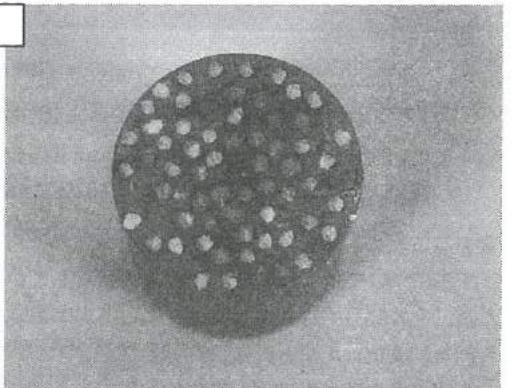
#### <4. 6> 樹脂系ハニカム構造体の炭化物

A法にて成形したフェノール樹脂ハニカム構造体を水蒸気炭化処理した炭化物の写真を図12に示す。炭化物は部分的に割れているが、成形時の形状は保持されていた。割れた面を拡大して観察すると無数の気泡が確認できた。これは、フェノール樹脂が硬化時に発生する水分によるものと考えられる。炭化条件を検討するとともに、樹脂の硬化時に真空雰囲気下に設置するなどの工夫

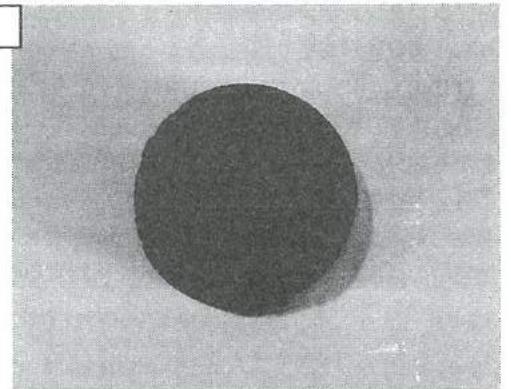
A法



B法



C法



D法

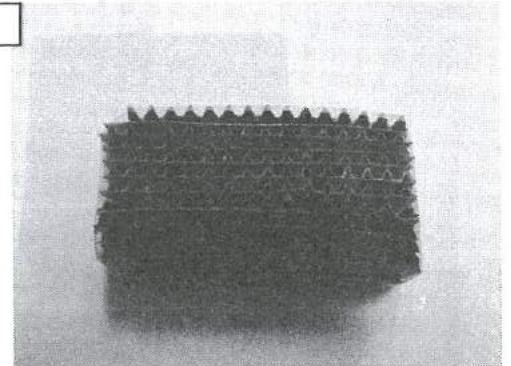


図11 フェノール樹脂とセルロース系のハニカム構造体

Fig.11. Honeycomb structure of the phenol resin and the cellulose system

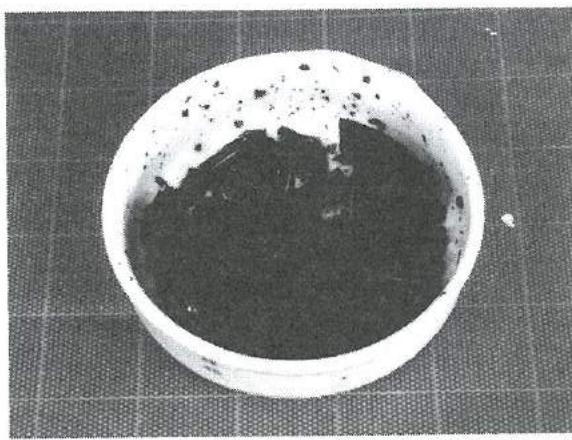


図12 フェノール樹脂ハニカム構造体(A法)の炭化物

Fig.12. Carbide of the honeycomb structure used phenol resin  
(A method)

をすることにより、ハニカム構造体が得られるものと考えられる。

B法については、紐自身も炭化し、接着している部分もみられたが、その部分も除去することによってハニカム形状のものが得られた。また、A法と同様割れも生じた。

C法のものについては、炭化物は形状をそのまま保持していたが、ウレタンスポンジの除去がうまくいかなかったため、目詰まりし、通気性があまり得られなかつた。

D法のものについては、図13に示すように接合部のはく離がみられたり、硬化剤として有機酸を使用しているためか、濾紙にあたる部分が非常に脆くなっている等の問題も発生した。これらの結果より、フェノール樹脂を用いた方法は有効であると考えられるが、成形条件や炭化条件（成形体内部の水分の除去、加熱時の昇温スピードなど）をさらに検討する必要がある。

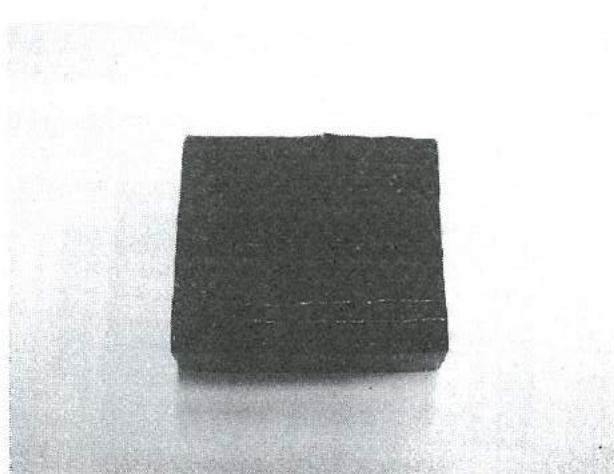


図13 フェノール樹脂ハニカム構造体(D法)の炭化物

Fig.13. Carbide of the honeycomb structure used phenol resin  
(D method)

## 5. 結 言

本研究では、炭化物のハニカム構造体の担体としての可能性を検討したところ、以下の成果が得られた。

- ① 炭化には、セルロースや芳香環を持つ材料が適している。
- ② 炭化物の耐熱温度は、無酸素雰囲気下では800°C以上である。
- ③ 炭化物の耐熱温度は、微量の酸素雰囲気下では400°C前後である。
- ④ 成形炭化材料としてフェノール樹脂と紙の組み合わせは、優れているが、水分除去などの成形条件を更に工夫する必要がある。
- ⑤ 炭化物ハニカム担体は、自動車排気ガス用触媒には可能性は低いが、他の有機ガス用としての応用は可能である。

## 謝 辞

この研究について木質系材料の提供をいただいた木材試験場長谷川益夫氏に感謝します。また、光造形によるサンプル作製にご協力いただいた富山県産業高度化センター山下澄男氏に感謝します。

## 文 献

- (1) 竹内雍監修：“多孔質体の性質とその応用技術”，(フジ・テクノシステム)。
- (2) 竹内雍監修：“最新吸着技術便覧—プロセス・材料・設計”，(エヌ・ティー・エス)。
- (3) 安部郁夫ほか：“廃棄物の炭化処理と有効利用”，(エヌ・ティー・エス)。
- (4) 日本ガイシ㈱ホームページ <http://www.ngk.co.jp/>
- (5) 西野善春ほか：“繊維機械学会誌”，p97-98, vol.56(2003).

### III. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(2)

Study of Direct Methanol Fuel Cells Using Polymer Electrolyte

稻澤 直子 INAZAWA Naoko	石見 雅美 ISHIMI Masami	関口 徳朗 SEKIGUCHI Noriaki
角崎 雅博 KADOSAKI Masahiro	谷野 克巳 TANINO Katsumi	升方 勝己 MASUGATA Katsumi

#### Abstract

Fuel cells can utilize fuel containing hydrogen, including methanol, ethanol, natural gas, and even gasoline or diesel fuel. Fuels containing hydrogen generally require a "fuel reformer" that extracts the hydrogen.

Direct methanol fuel cells (DMFC) are relatively a new member of the fuel cell family. The anode catalyst itself draws the hydrogen from the liquid methanol, eliminating the need for a "fuel reformer".

The DMFC offers promising technology for the application in portable systems as well as in vehicles and for the energy supply at home. In this study, our purpose is to assemble the fuel cell system using proton exchange membrane(PEM) and to clarify the characteristic of the fuel cell using hydrogen and methanol.

#### 1. 緒 言

固体高分子型燃料電池 (PEFC) は、水素 ( $H_2$ ) が持っている化学エネルギーを燃焼過程を経ずに直接電気エネルギーに変換する装置であり、小容量のものでは、従来の熱機関（ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンなど）と比較すると、エネルギー変換効率が高く、またコンパクト性にも優れている。

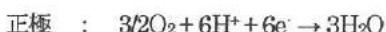
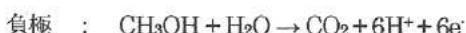
中でも、ダイレクトメタノール型燃料電池 (DMFC) は小型化が容易で、次世代電気自動車用電源、家庭用予備電源、また携帯電子機器等の超小型電源として期待されている。

本研究では、DMFCを試作し、その構造、触媒、運転条件等について検討した。

#### 2. DMFCの動作原理

図1はDMFCの概略図を示す。DMFCでは、燃料として水素の代わりにメタノール ( $CH_3OH$ ) を用いることを特徴とする。

各々の電極反応は、



と表され、 $CH_3OH + 3/2O_2 \rightarrow CO_2 + 3H_2O$  の反応に対して理論起電力は1.21V、エネルギー変換効率は97%となる。

しかし、理論的には高い発電効率が得られるDMFCでも、反応の過程で発生するCOが触媒であるPtに吸着してメタノールの反応を妨げるCO被毒やメタノールが電解質膜をそのまま透過する

クロスオーバーが出力低下の問題となっている。

#### 3. 実験方法

##### <3. 1> 実験装置

実験は昨年試作した装置を用いて実施した。概略図と計測方法をそれぞれ図2、図3に示す。

燃料電池セルにはメタノール水溶液を0~1.0cc/minで供給した。セルを通過したメタノール水溶液はそのまま外部へ取り出し循環させないものとした。また、酸素または空気は300cc/min一定で供給した。それぞれ加圧は行わず大気中に放出した。また、セルの温度調整は行わず、計測は室温(23~25°C)で実施した。

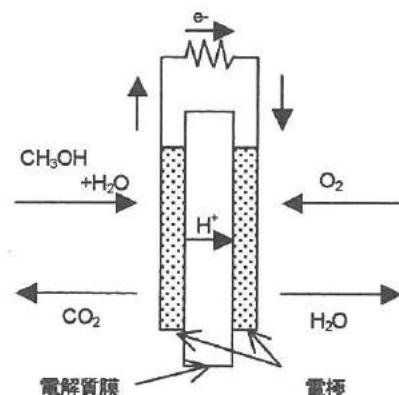


図1 DMFC 概略図  
Fig.1. Outline figure of DMFC

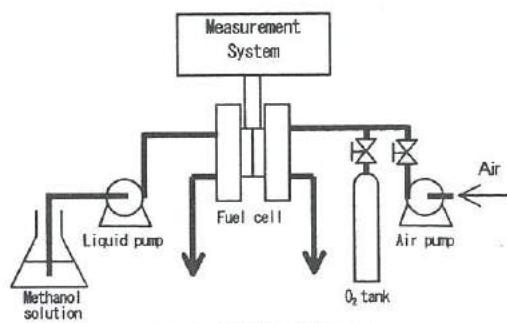


図2 実験装置概略図

Fig.2. Schematic diagram of the experimental apparatus

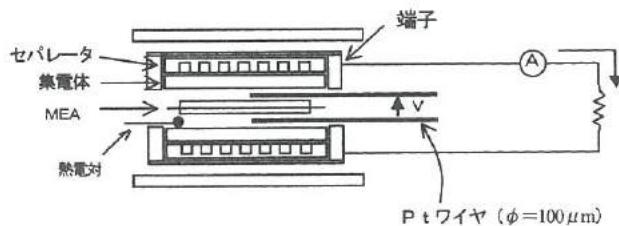


図3 計測方法

Fig.3. Measurement method

### <3. 2> 細孔充填電解質膜

現在PEFCで用いられているナフィオン膜に代表されるパーフルオロスルホン酸系の電解質膜は、内部に親水性のクラスター領域を有し、この領域に水を取り込むことでプロトン伝導性を示す。このため、含水率が増えるとイオン導電率も高くなるが、その際水分により膜は膨潤する。また、アルコールによっても水の2倍程度の膨潤を示し、機械的なサポートをしなければMEAはセル内部で変形・破損してしまう。低温駆動のDMFCではメタノール水溶液が直接MEAに接することから、膜の膨潤対策は重要である。

今回はこの膨潤対策としてPTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene)を骨格としてその空隙をイオン導電性樹脂で満たす、細孔充填電解膜を試作した。図4は細孔充填電解膜の概念図を示す。

この方法で得られる電解膜では以下のことが期待される。

- (1) 膜の機械的強度が高まる→薄膜化が可能。
- (2) 膨潤による膜の変形を抑え、電極層の割れ・剥離を防ぐ。
- (3) 膨潤を抑えメタノールの透過を減少させる。

多孔膜として、日東電工㈱製PTFE多孔質膜(NTF1026, 孔径0.2 μm, 膜厚25 μm, 空隙率80%)を用いた。表面の電子顕微鏡写真を図5に示す。

この膜の径 φ 35.8mm(面積10cm<sup>2</sup>)を電極面として、5wt%ナフィオン117溶液を1.0cc含侵させた。図6は含侵前後の膜の様子を示す。含侵後は膜が半透明となっている。

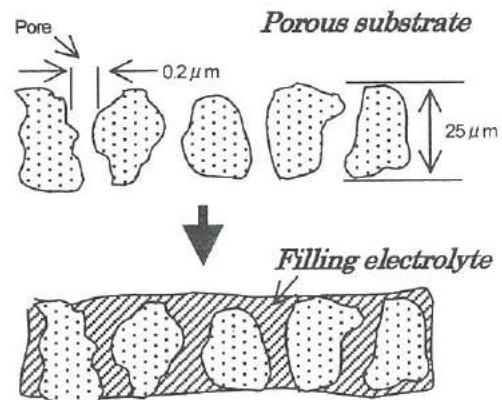


図4 細孔充填電解質膜の概念図

Fig.4. The pore-filling membrane concept

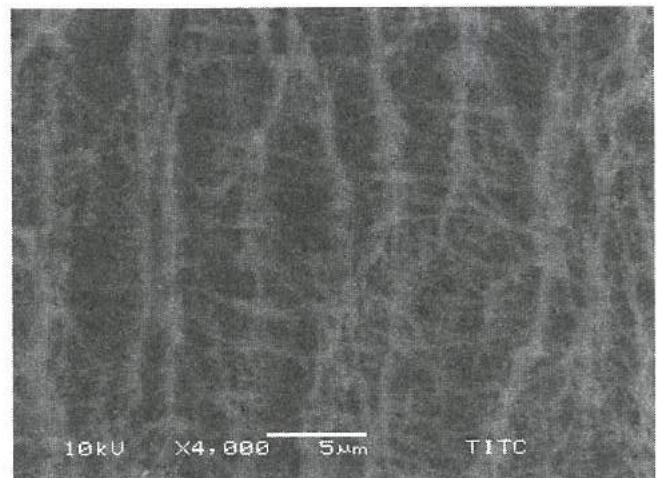


図5 PTFE 多孔体の電子顕微鏡写真

Fig.5. SEM image of PTFE porous substrate

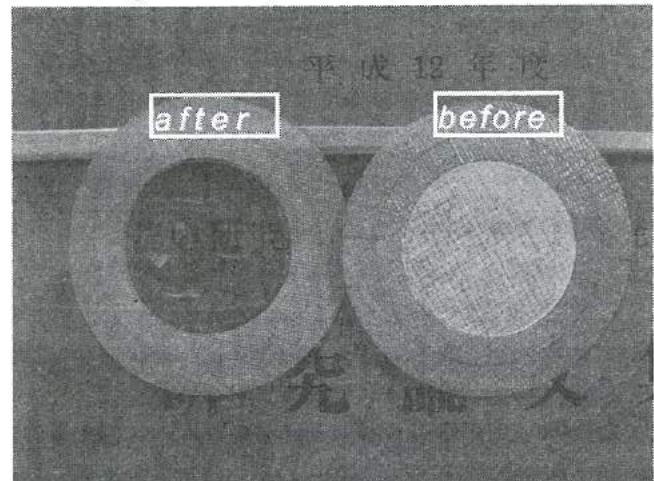


図6 細孔充填電解質膜写真

Fig.6. Photographs of pore-filling electrolyte membrane

<3. 3>MEA(Membrane Electrode Assembly)の作製  
反応触媒としてアノード、カソード側ともに Pt-Ru/C触媒(TEC61E54,Pt:Ru=1:1.5,田中貴金属工業製)を用いた。

触媒は5wt%ナフィオン117溶液をナフィオンとカーボンが同重量となるよう調整し、1-プロパノールで全体量が4.5ccになるよう希釈したものに混合した。

混合された溶液をスプレーガンで電解質膜の電極面に均一となるように吹き付けた後、80°Cの恒温層の中で1時間乾燥した。

触媒量はアノード、カソードとも同量になるよう吹き付け、吹きつけ前後の膜の重量変化より触媒量を求めた。

乾燥後、140°C、5Mpaの条件でホットプレスを5分間施した。

#### 4. 実験と考察

##### <4. 1>特性評価(その1)

アノード、カソードとも触媒量が1.4mg/cm<sup>2</sup>となるMEAを作製し、アノードに供給するメタノール水溶液濃度を1,3,6,8,10mol%と変化させ、また、カソード側を酸素もしくは空気に変えて各々の特性を評価した。

図7～図10はメタノール濃度をパラメータとした電流密度一出力電圧特性および電流密度一電力密度特性の一例を示す。

空気および酸素のどちらの実験においても、メタノール水溶液濃度が高いほど出力は上昇した。

最大電力密度は10mol%メタノール水溶液を供給した時、酸素で63mW/cm<sup>2</sup>(at 280mV)、空気で24mW/cm<sup>2</sup>(at 170mV)が得られた。

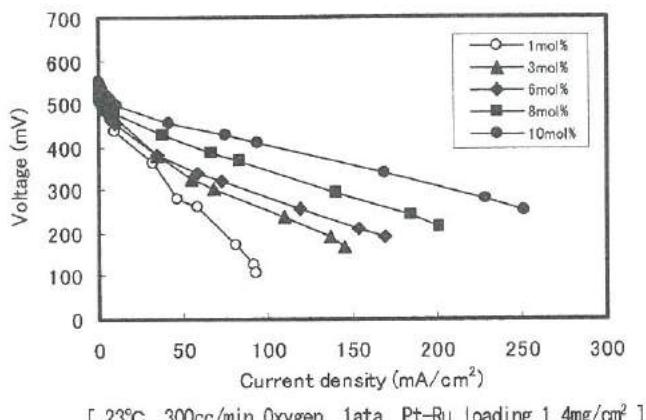


図7 メタノール濃度をパラメータとした電流一電圧特性変化  
Fig.7. Effect of the methanol concentration on the I-V curve

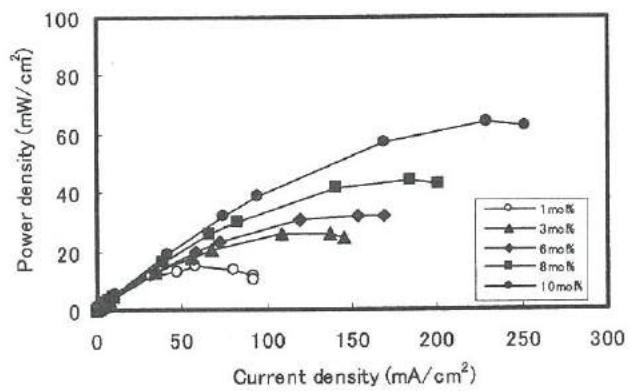


図8 メタノール濃度をパラメータとした電流一出力密度  
Fig.8. Effect of the methanol concentration on the I-W curve

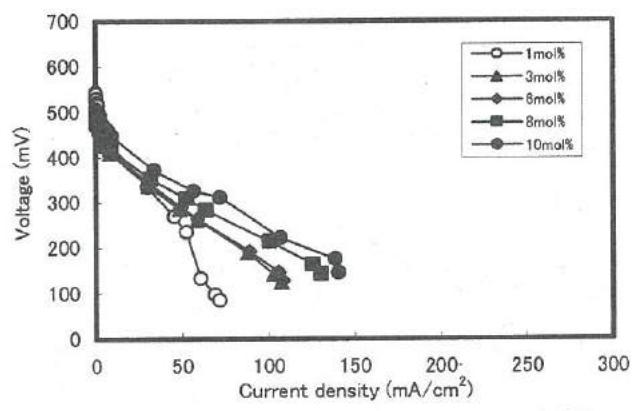


図9 メタノール濃度をパラメータとした電流一電力特性変化  
Fig.9. Effect of the methanol concentration on the I-V curve

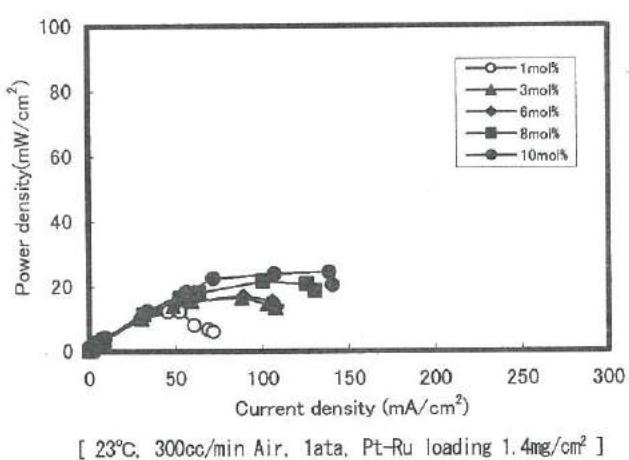


図10 メタノール濃度をパラメータとした電流一電力密度特性変化  
Fig.10. Effect of the methanol concentration on the I-W curve

#### <4. 2>MEA電極クラック

4.1節で評価したMEA電極には、吹き付けの乾燥時に図11に示すような乾燥収縮割れが生じることがわかつた。

これは、図12に示すように、メタノール水溶液が触媒層を通過せずに直接電解膜に触れ、クロスオーバーを増大させてしまうため、出力低下の要因になると考えられる。

そこで、MEAを作製する際、乾燥時の収縮割れが極力生じないように慎重に吹き付けを行った。そのMEAを用いて特性評価した。この時の触媒量は $1.1\text{mg/cm}^2$ とした。

図13はメタノール水溶液濃度6mol%、カソード酸素供給時のクラックのある試料とない試料の出力特性の一例を示す。

図13より、触媒量が少ないにもかかわらずクラックのない試料の出力は向上していることがわかる。

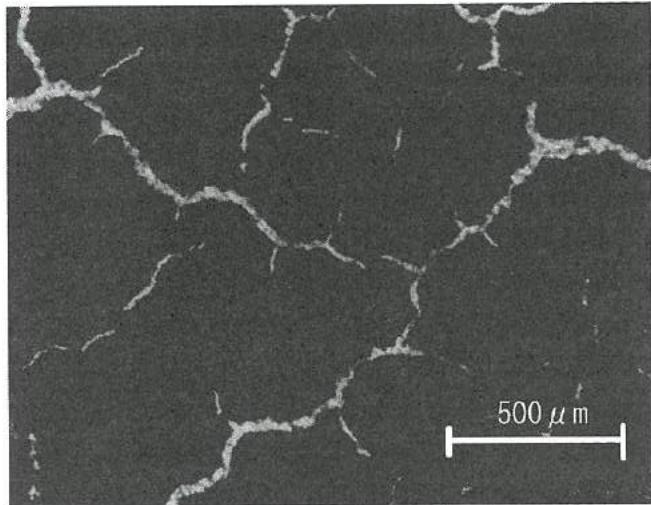


図11 電極に生じた亀裂

Fig.11. Cracks in the electrode

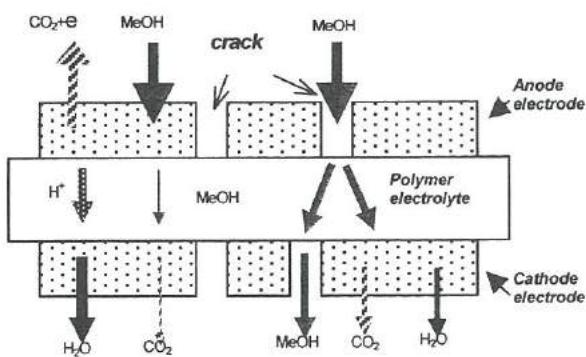


図12 電極の亀裂からのメタノール透過

Fig.12. Methanol cross-over from crack of electrode

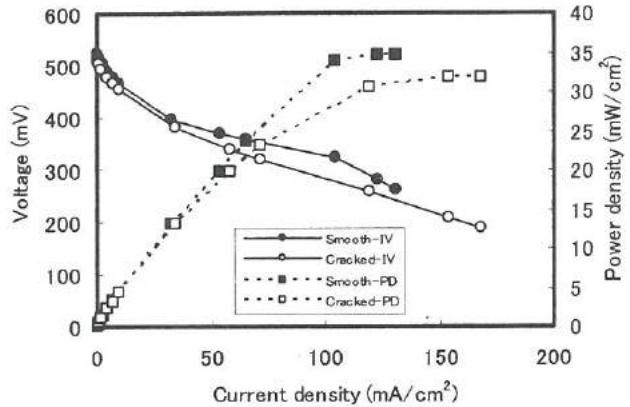


図13 電極割れによるMEAの特性変化

Fig.13. Effect of the cracks of electrode on the MEA characteristic

#### <4. 3>MEAの劣化

4.2節で作製したMEAで8mol%メタノール水溶液を用いて温度条件を変化させ測定を行ったところ、セル温が80°Cのところで急激な出力の低下が観察された。

セル温を室温に戻し再度測定したが、出力は回復しなかった。

図14はメタノール水溶液濃度を6mol%とし、酸素供給時の膜の劣化前後での電気的特性の一例を示す。図より、80°Cに加温後の試料の出力が著しく低下していることがわかる。

セル中のMEAには肉眼上の変化は観察されなかつたが、図15、16に示す劣化前後のアノード側電極表面の電子顕微鏡写真では割れが多くなり荒れている様子が観察された。

また、開放電圧が100mV程度低下していることから、電極の割れや電解質の溶出がクロスオーバーを増大させ、出力を低下させたと考えられる。

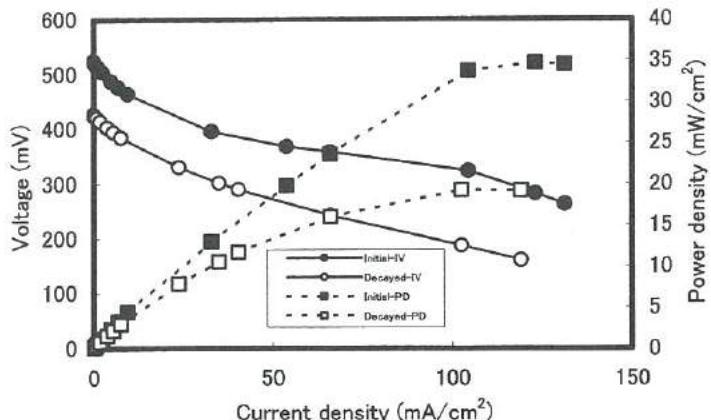


図14 高温試験後のMEA特性の変化

Fig.14. Change of MEA performance after experiment in high temperature

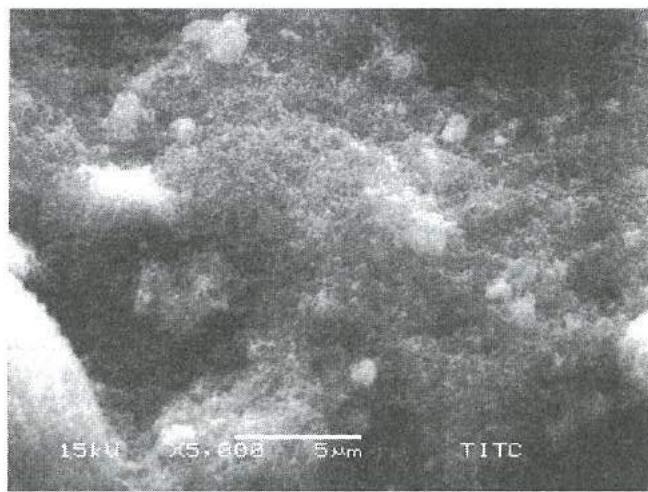


図 15 劣化前の電極表面

Fig.15. Electrode surface before decay

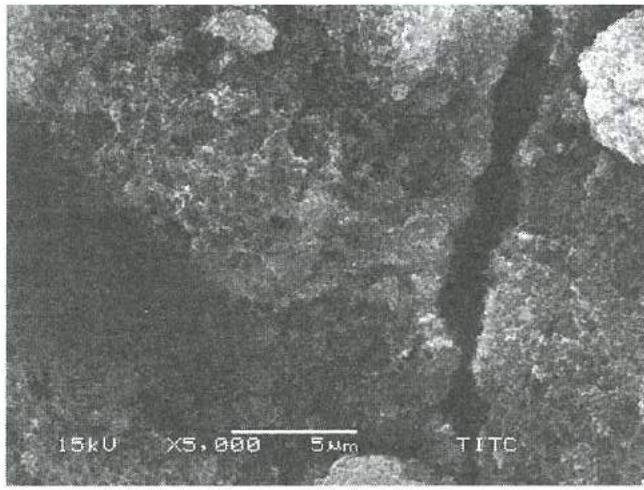


図 16 劣化後の電極表面

Fig.16. Electrode surface after decay

#### <4. 4>特性評価（その2）

アノード、カソードとも触媒量が  $2.3\text{mg}/\text{cm}^2$  となる MEA を用いて、アノードに供給するメタノール水溶液濃度を 1,3,6,8,10mol% に変化させ、また、カソード側を酸素もしくは空気に変えて特性評価を行った。

図 17～図 20 はメタノール濃度をパラメータとした電流密度一出力電圧特性および電流密度一電力密度特性の一例を示す。空気および酸素のどちらの実験においても、メタノール水溶液濃度が高いほど出力は上昇した。

最大電力密度は 10mol% メタノール水溶液を供給した時、酸素で  $92\text{mW}/\text{cm}^2$  (at 360mV)、空気で  $56\text{mW}/\text{cm}^2$  (at 285mV) が得られた。

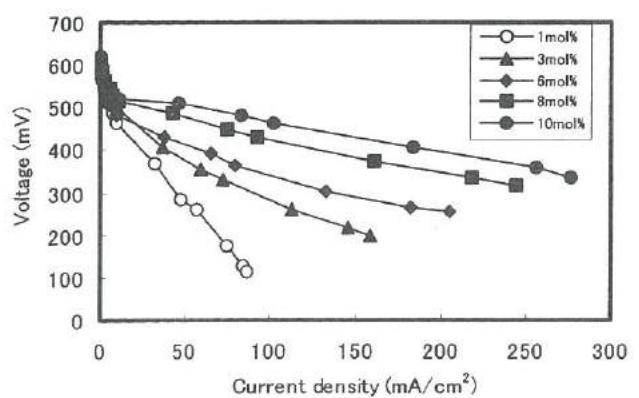


図 17 メタノール濃度による電流一電圧特性変化

Fig.17. Effect of the methanol concentration on the I-V curve

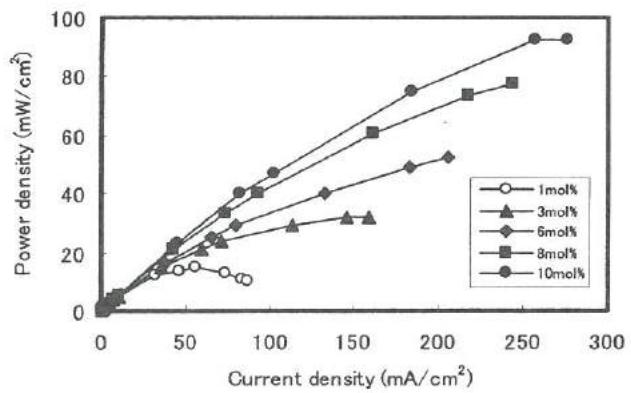


図 18 メタノール濃度による電流一電力密度特性変化

Fig.18. Effect of the methanol concentration on the I-W curve

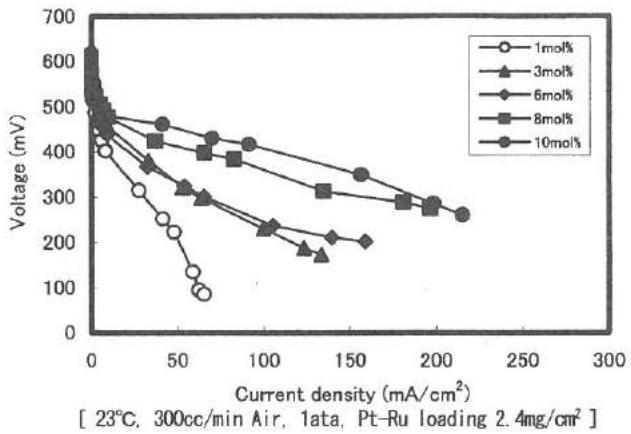
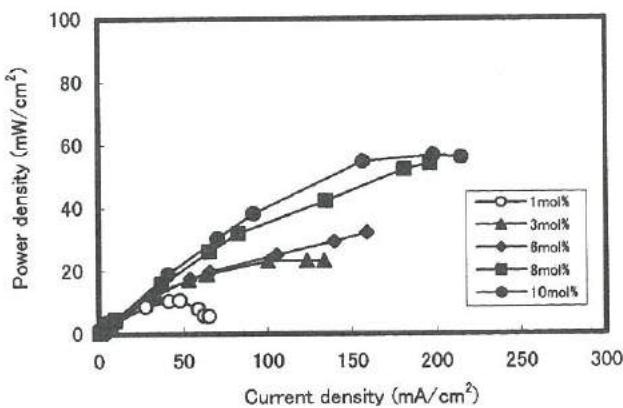


図 19 メタノール濃度による電流一電圧特性変化

Fig.19. Effect of the methanol concentration on the I-V curve



[ 23°C, 300cc/min Air, 1ata, Pt-Ru loading 2.4mg/cm<sup>2</sup> ]

図 20 メタノール濃度による電流一電力密度特性変化

Fig.20. Effect of the methanol concentration on the I-W curve

#### <4. 5> 特性比較

触媒量が 1.4mg/cm<sup>2</sup>、2.4mg/cm<sup>2</sup> の MEA について、メタノール濃度の違いによる開放電圧の変化を図 21 および出力電圧を 400mV 一定とした時の電流密度との関係を図 22 に示す。

図 21 より、触媒量やカソード側燃料が異なる条件での、メタノール濃度の違いによる開放電圧には大きな変化は観察されなかつた。空気よりも酸素を用いたほうが、また、触媒量が多いほうが開放電圧は高くなる傾向にあつたが、2.4mg/cm<sup>2</sup> では酸素と空気で開放電圧に大きな違いは観察されなかつた。

また、実用的電位(400mV)での電流密度はいずれの場合もメタノール濃度が高くなるにつれて増加している。なお、空気よりも酸素を用いたほうが、さらに、触媒量が多いほうが電流密度は高くなっている。

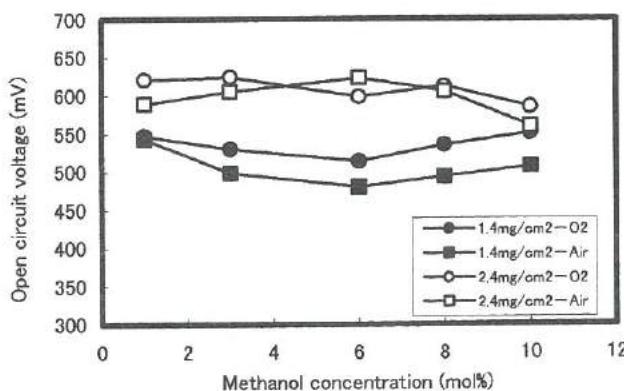


図 21 メタノール濃度と開放電圧の関係

Fig.21. Dependence of methanol concentration on open circuit voltage

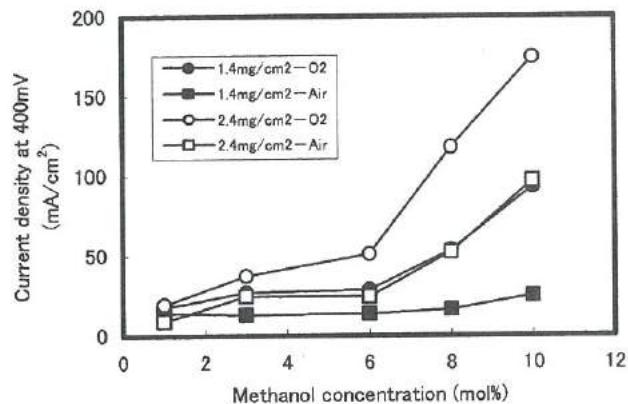


図 22 メタノール濃度と電流密度の関係

Fig.22. Dependence of methanol concentration on current density

#### 5. 結 言

細孔充填電解質膜を用いた MEA を試作しその特性を評価したところ、以下の結果が得られた。

- ① 温度や圧力を調整しない室内条件で触媒 2.4mg/cm<sup>2</sup> を担持させた MEA は、10mol%メタノール水溶液を供給することで、酸素で 92mW/cm<sup>2</sup>(at 360mV)、空気で 56mW/cm<sup>2</sup>(at 285mV)の出力密度が得られた。また、実用的電位(400mV)では酸素で 70mW/cm<sup>2</sup>、空気で 39mW/cm<sup>2</sup>の出力密度が得られた。
- ② 出力のメタノール濃度依存性では、いずれの試作膜も濃度 10mol%までは濃度とともに出力が向上する傾向にある。
- ③ MEA 作製条件等に由来する電極のクラックは出力低下の原因となる。
- ④ 高温で高濃度メタノールを供給した場合、MEA に不可逆的な損傷が生じた。

なお、本研究で試作した MEA は比較的高出力が得られたが、小型携帯機器に実用的に応用するためには、さらに数倍の電力密度が必要と考えられる。耐久性の向上とともに今後の課題である。

#### 文 献

- (1) Takeo Yamaguchi、Hideki Hayashi、Seiji Kasahara、Shin-ichi Nakao : Plasma-graft Pore-filling Electrolyte Membranes Using a Porous Poly(tetrafluoroethylene) Substrate (2002)
- (2) Keiichi Okajima、Motoki Suetake、Kazuyoshi Furukawa、Masao Sudoh : Evaluation of Liquid-feed Direct Methanol Fuel Cell at Near-ambient Temperature for Mobile Applications (2002)
- (3) 関口徳朗、土肥義治、角崎雅博、谷野克巳、小出哲雄、坂本雅美、升方勝己：「ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発」2002 年若い研究者を育てる会研究論文集

## IV. 体質診断等 DNA チップの開発(2)

Development of DNA chip for the diagnosis of the constitution with the cause to the gene(II)

水原 崇 碓井 洋平 米嶋 勝宏 寺澤 孝志 牧村 めぐみ

MIZUHARA Takashi USUI Youhei YONESHIMA Katsuhiro TERASAWA Takashi MAKIMURA Megumi

角崎 雅博 藤城 敏史 釣谷 浩之 横山 義之 中川 章 谷野 克己

KADOSAKI Masahiro FUJIKI Satoshi TSURITANI Hiroyuki YOKOYAMA Yoshiyuki NAKAGAWA Akira TANINO Katsumi

### Abstract

Recently, the effective utilization of the gene information is examined, because the analysis of the human gene sequence data ended. In addition, the tendency of the pathogenesis of adult disease (obesity and diabetes mellitus, etc.) which depends on the gene is clarifying. In this study, we will develop the DNA-chip which measures the existence of the hybridization using complementary gene probe, and apply the alternating current electrochemical method to the DNA chip. Consequently, following results were obtained.

1. The DNA immobilization on gold electrode was confirmed by the observation of the surface hydrophilicity and the analysis of ESCA measurement.
2. The analysis technique of the alternating current electrochemical measurement was established by the examination of various equivalent circuits, and was applied to the DNA chip measurement.
3. The immobilization of the probe DNA and the hybridization with the target DNA were respectively detected by the alternating current electrochemical method.

### 1. 緒 言

肥満は、高血圧や高脂血症などの生活習慣病を始めとする多くの病気のきっかけとなりうることが明らかとなっている<sup>1)</sup>。

遺伝子は、細胞をつくるタンパク質の設計図と言われ、デオキシリボ核酸(DNA)の一部分である。DNAは、リン酸と糖と塩基の化合物であるスクレオチドが1本鎖状につながったポリヌクレオチドから構成され、2本のポリヌクレオチドが相補的に塩基部分で結合し二重螺旋構造をとる。塩基にはアデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)の4種類があり、AとTおよびGとCは相補的な塩基対を形成する。1本のポリヌクレオチドに他のポリヌクレオチドが塩基対の相補的な関係により結び付くことをハイブリダイゼーションと言う。A、T、G、Cから作られる3つの塩基の組み合わせは、特定のアミノ酸を意味し、このアミノ酸がつながってタンパク質が合成され細胞が作られるので、遺伝子に異常があれば病気にかかり易くなる。例えば、CGAの組み合わせはアルギニンを表すが、遺伝子に異常を生じCがTに替わると、TGA(ストップコドン)となりタンパク質への翻訳終了を意味

する。ラットの肥満遺伝子では、これにより脂肪を溶かす機能を持つレブチンが作られなくなり、脂肪の蓄積が起こると考えられている。ただ、レブチンが少ないと必ず肥満になるのではなく、他のホルモンや視床下部の働きと関連があることも明らかになっている。同様に、糖尿病に関するインスリンも遺伝子の異常によって作られなくなる。

このような遺伝子異常のうち、1塩基の違う配列を持つ遺伝子を、特に1塩基多型 (SNP's : Single Nucleotide Polymorphisms) と呼び、生活習慣病のかかりやすさや薬剤の副作用の有無などに影響することが示唆されている。この SNP's を用いたDNA診断は病気を予防するための有効な手段と成り得るものとして期待されている。しかし、SNP's を調べる高精度のDNA診断法はまだ確立されていない。

そこで、本研究では糖尿病と肥満になりやすい体质を取り上げ、これらの病気発病と関連のあるSNP's配列をプローブDNAおよびターゲットDNAとして用い、ハイブリダイゼーションの有無を高精度で検出するDNAチップの開発および電気化学的測定法の確立を目的とした。

## 2. DNA診断の概要

### <2. 1>DNA診断法の現状

DNA診断チップは、検出方法により蛍光発光を利用するものと、電気化学的に活性な分子を利用するものの2種類に大別される。前者はガラスやシリコン基板上に蛍光物質を付加したプローブDNAを固定化しておき、同じく蛍光物質を付加したターゲットDNAとハイブリダイゼーションさせた後の蛍光の違いを検出するもので、後者はプローブDNAとターゲットDNAをハイブリダイズさせた後、低電圧で酸化還元反応を示す物質（インターラマーティア）を導入して電気化学信号の違いを検出するものである。特に、電気化学測定法は蛍光発光法と比較して、測定装置が安価で測定時間も短く、小規模の診療所でも利用が可能で、次世代のDNAチップとして期待され、一部実用化段階に至っているものもある<sup>2)~9)</sup>。

### <2. 2>肥満・糖尿病に関する一本鎖オリゴDNA

本研究で使用したDNAは、ヒトの肥満と糖尿病に関する2種類の一本鎖オリゴDNAである。肥満遺伝子は、64番目のアミノ酸のコードがトリプトファン(Trp)になるかアルギニン(Arg)になるかで、やせ・内臓脂肪減少型または肥満・内臓脂肪肥満型となる。また、糖尿病遺伝子では、12番目のアミノ酸のコードがプロリン(Pro)になるかアラニン(Ala)になるかで、糖尿病に成りやすいか成り難いか分かれる。

表1は使用した肥満および糖尿病に関する一本鎖オリゴDNAの塩基配列を示す。ここで用いたSNP'sを示すDNAは一塩基の違いで正反対の特徴を持つものであり、SNP'sの両側に12塩基ずつ付けた25塩基のオリゴDNAである。それぞれTrp64、Arg64およびPro12、Ala12とした。さらにこのオリゴDNAの5'末端にメルカプト基(SH基)を付加したTrp64-SH、Arg64-SH、Pro12-SHおよびAla12-SHをプローブDNAとして金電極に固定化するために用い、相補的な配列のDNA

表1 肥満・糖尿病に関する一本鎖オリゴDNAの塩基配列

Table 1. Sequence of obesity and diabetes mellitus.

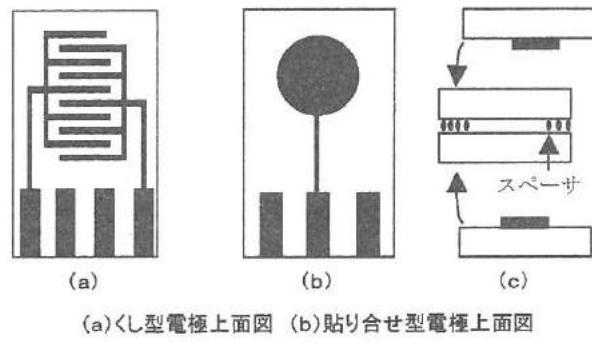
1本鎖DNA		塩基列
肥 満	Trp64	5'-GTGGCCATCGCC T GGACTCCGAGAC
	Arg64	5'-GTGGCCATCGCC C GGACTCCGAGAC
糖 尿	Pro12	5'-TCTCCTATTGAC C CAGAAAGCGATT
	Ala12	5'-TCTCCTATTGAC G CAGAAAGCGATT

Trp64-com、Arg64-com、Pro12-comおよびAla12-comをターゲットDNAとした。すべてのオリゴDNAは外部に合成依頼し、納入されたDNAはリン酸緩衝液(pH7.0)で濃度が10pmol/ $\mu$ Lになるように調整し、以後の実験操作において20 $\mu$ Lずつ使用した。交流測定では、TEバッファー{10mM Tris/HCl(pH7.0), 1mM EDTA}を用いた。

## 3. 実験方法

### <3. 1>DNAチップ用電極の作製

DNAチップの外観を図1に示す。バイレックスガラス(コーニング#7740、1mm厚)基板上にAu電極パターンを形成することにより作製した。端子部は2.5mmピッチとしている。(a)のくし型電極はライン&スペースが30 $\mu$ mで、片側の電極面積は1.4mm<sup>2</sup>である。これは量産に適した簡単な構造である。(b)の貼り合せ型チップは半径が1cmの円形電極二枚を直径3 $\mu$ mのシリコンパウダーと接着剤を混合したもので電極間距離をとり、貼り合わせたものである(面積は79mm<sup>2</sup>)。これはDNAが寄与する有効電極面積が広い特長をもつ。



(a)くし型電極上面図 (b)貼り合せ型電極上面図

(c)貼り合せ型電極断面図

図1 DNAチップの外観

Fig.1. Schematic of DNA chip.

DNAチップ用電極の作製プロセスチャートを図2に示す。基板に付着した有機物を洗浄除去した後、Cr、Auの順にスパッタリングにより成膜した。Cr膜はAu膜の密着強度を上げるためのものであり、膜厚は50nm程度である。Au膜は200nmである。電極形成は、レジスト(OMR85-45cp)をエッティングマスクとし、Cr、Auそれぞれのエッティング液にてパターニングした。パターニング後、硫酸-過酸化水素水(=2:1)溶液でレジストを除去し、最後にO<sub>2</sub>プラズマで微細な有機物を完全に取り除いた。

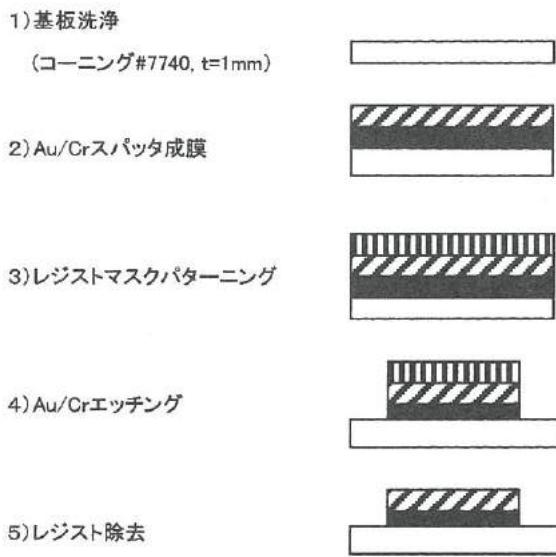


図2 DNAチップ電極の作製フロー

Fig.2. Process flow for DNA chip electrode.

### <3. 2> DNAチップの作製

図3はDNAチップの作製と交流法による測定の手順を示す。金電極上に、調整済みのプローブDNAを $20\mu\text{L}$ 滴下し、室温で1時間放置する。その後固定化されなかったプローブDNAをイオン交換水で除去する。次にターゲットDNAを $20\mu\text{L}$ 滴下し、 $43^\circ\text{C}$ の恒温槽内で1時間ハイブリダイゼーションさせる。その後ハイブリダイゼーションしなかったDNAをイオン交換水で洗浄し、TE液を $20\mu\text{L}$ 滴下し交流測定を行う。

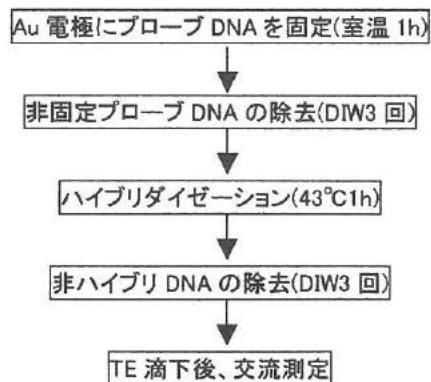


図3 DNAチップの作製と交流測定の手順

Fig.3. Procedure of manufacture of DNA chip and alternating current measurement.

### <3. 3> 交流測定法

交流法によるインピーダンス測定(Z測定)は、電極反応の情報(電荷移動抵抗 $r$ 、電気二重層の容量 $C_{dl}$ 、拡散パラメータ $S$ など)を得ることができ、バッテリー等の開発に多用されており、有用な手法である<sup>10)-11)</sup>。DNAチップの開発においても、DNAチップの電気化学測定そのものが一種の電池(cell)を測定していることと同じであり、電極反応の情報をDNAの固定化、ハイブリダイゼーションなどと対比することができる<sup>12)</sup>。

一般にインピーダンス測定の結果は、ナイキスト線図またはボード線図で表される。ナイキスト線図は横軸が抵抗成分、縦軸が容量成分を表し、電気二重層容量、電荷移動抵抗の検討ができるが周波数との関係が読み取りにくい。一方、ボード線図では周波数とインピーダンスの絶対値 $|Z|$ 、および周波数と位相差 $\theta$ の関係が求まる。拡散パラメータ $S$ については、 $0.1\text{Hz}$ 程度以下の低周波数で現象が現れるので、検討はかなり困難である。

図4はDNAチップの電気的等価回路と交流測定結果図の一例を示す。(a)に示すDNAチップは、Randlesの等価回路を用いて(b)に近似できる。このときのナイキスト線図は、(c)の実線のようになる。破線は2つの電極の状態が等価ではない場合である。ここで、円弧の部分は左側から高周波、中間周波数、低周波領域(MHz~ $0.1\text{Hz}$ )であり、直線部分は超低周波領域( $0.1\text{Hz}$ 程度以下)である。

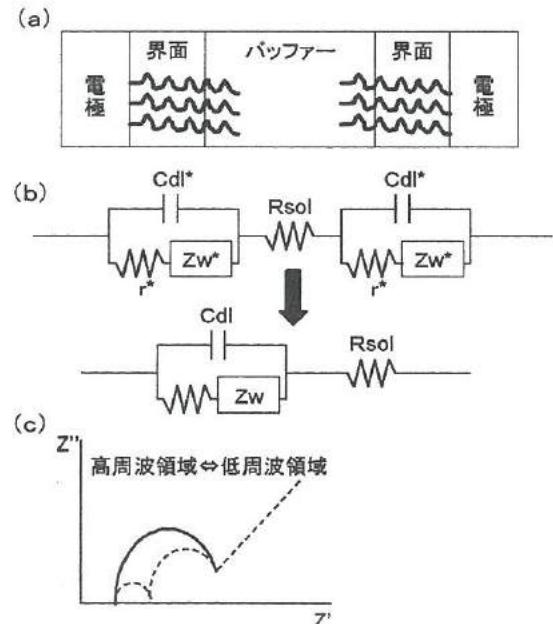


図4 DNAチップの等価回路と交流測定概要

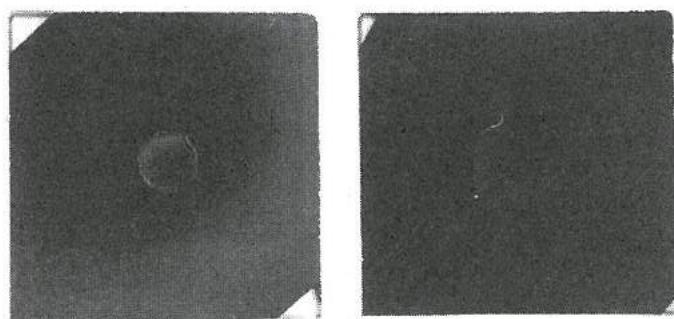
Fig.4. Equivalent circuit of DNA chip.

## 4. 実験結果・考察

### <4. 1> 固定化の確認

はじめにプローブ DNA が基板に固定化しているかどうかの確認を行った。原子間力顕微鏡で観察を行ったが、金表面が数 10~100nm の球形の金クラスターから構成されており、その上に数 nm のプローブ DNA が固定化しているが、曲面形状と熱振動のために観測できないことが判った。高感度の RAS 赤外分光においても観測できなかった。

図 5 は金電極と DNA を固定化した金電極にそれぞれリン酸緩衝液を滴下したときの写真を示す。金電極では撥水して液が球形であるのに対し、DNA を固定化した金電極では液が広がり親水性になっているのがわかり、表面の状態が変化したことがわかる。これは、固定化した DNA がリン酸緩衝液の滴下により、アニオン化し、液とのなじみがよくなったためではないかと考えられる。



(a) 金電極 (b) DNAを固定化した金電極

図5 金電極の撥水性と固定化後の親水性

Fig.5. Water repellency of the gold electrode and hydrophilicity after immobilization.

図 6 は、金電極と DNA を固定化した金電極表面の ESCA 分析結果を示す。金電極の表面には炭素が吸着しているが、市販の DNA チップ用金電極でも同量の炭素がみられた。金への炭素の吸着は避けがたいものがあるのが、固定化の前に硫酸一過酸化水素水(=2:1)溶液にて数秒洗浄する行程を加えることとした。また、リン酸緩衝液で金電極を洗浄したあとでもリン酸は付着しなかった。DNA の固定化後に余分な DNA を洗浄したものは、炭素、酸素が増加し、金は減少しており、これは金電極上にプローブ DNA 固定化されたものと考えられる。

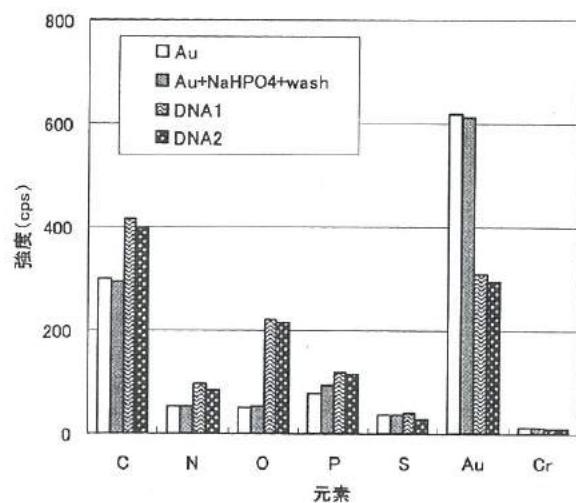


図6 金、リン酸洗浄後及び DNA 固定化後の ESCA 分析結果

Fig.6. ESCA result of analysis.

### <4. 2> 交流インピーダンス測定(予備実験)

図 7 は貼り合わせ金電極上に TE 電解液のみを滴下した後の交流インピーダンス測定結果を示す。左下の領域で(1 MHz~10mHz)で円弧が現れており、この部分を円近似することにより、電荷移動抵抗 $\approx 8.7\text{ M}\Omega$ 、電気二重層容量 $\approx 960\text{ pF}$ が得られた。

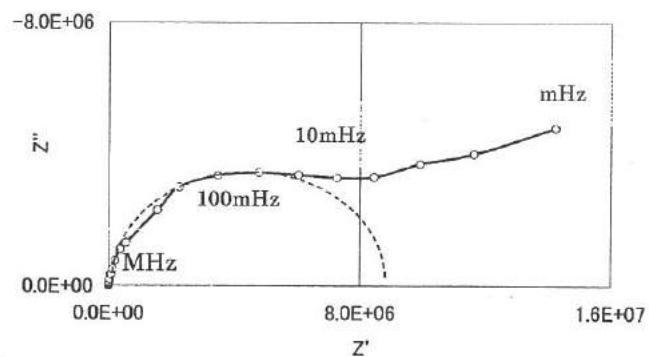


図7 TE電解液のインピーダンス

Fig.7. Impedance of TE electrolyte.

そこで、インピーダンス測定結果の傾向を見るために予備実験として、コンデンサと抵抗を並列に接続し、図 8 に示す擬似的な等価回路を用いて実験を行った。上記の結果より、抵抗 R は  $4.7\text{ M}\Omega$  に固定し、コンデンサの容量( $0.001\mu\text{F}, 0.01\mu\text{F}, 0.1\mu\text{F}$ )を変化させた。

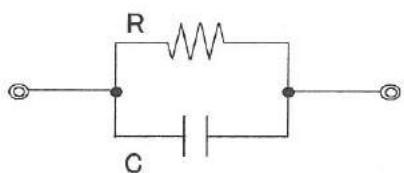


図8 金電極界面の擬似等価回路例

Fig.8. Equivalent circuit of gold electrode interface.

図9は擬似等価回路のナイキスト線図である。横軸は実数軸(抵抗分)であり、縦軸は虚数軸(コンデンサ分)である。円弧を描き横軸と0, 4.7MΩで交わり、容量の値に関係なく一定の円弧を描く。

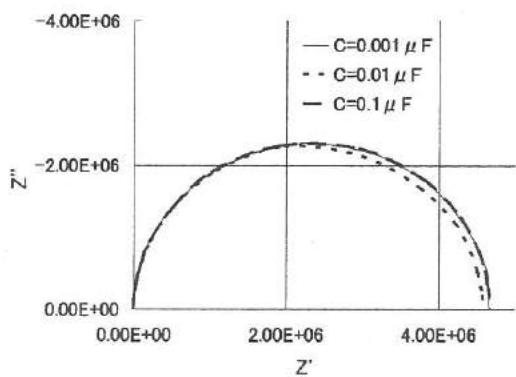


図9 擬似等価回路の複素平面表示

Fig.9. Complex plane plot of equivalent circuit.

図10は擬似等価回路のボード線図である。容量が変化すると周波数特性に変化が見られる。高周波数側で傾き一定の直線である。容量が大きくなるにつれ下(インピーダンス減少)向きに減少する。

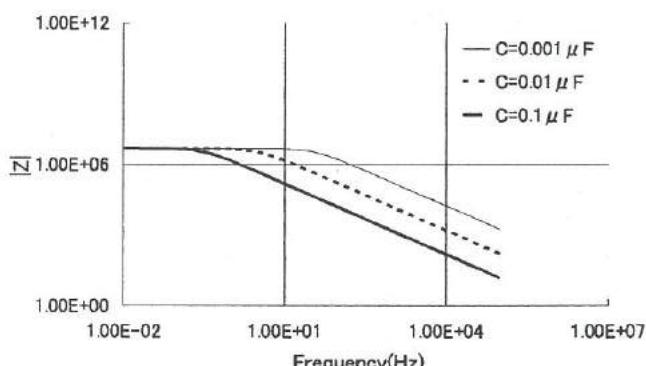


図10 擬似等価回路のボード線図表示(f-|Z|プロット)

Fig.10. Bode plot(f-|Z| plot) of equivalent circuit.

図11は擬似等価回路のボード線図表示の周波数一位相差表示を示す。容量が大きいほど、より低周波側で位相差が90°となり容量成分が効いてくることが判る。

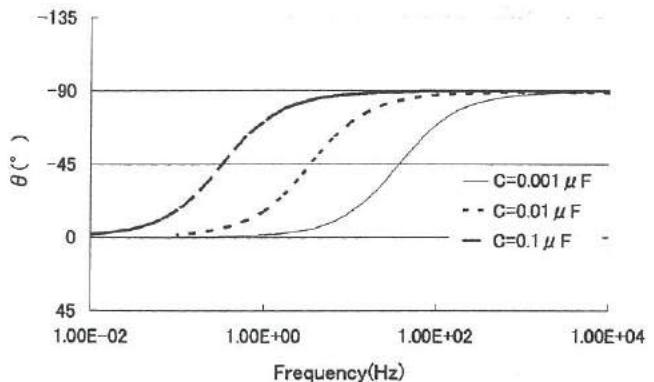


図11 擬似等価回路のボード線図表示(f-θ プロット)

Fig.11. Bode plot (f-θplot) of equivalent circuit.

図12は、並列につないだ抵抗とコンデンサのインピーダンスの周波数依存性の概略を示す。この結果と図4とを対応させることにより、DNAチップの詳細な解析が可能(固定化やハイブリダイゼーション)となる。

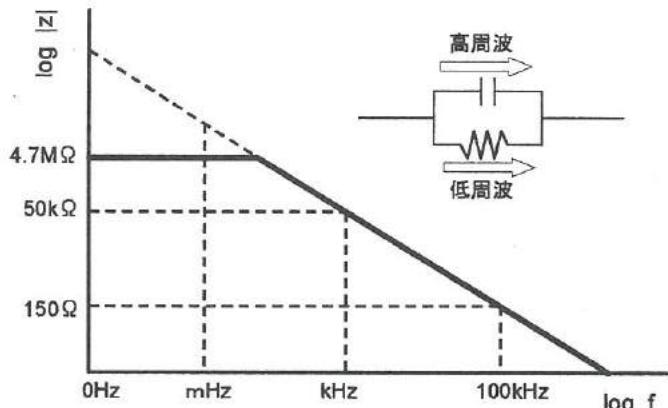


図12 インピーダンスの周波数依存性

Fig.12. Frequency dependence of the impedance.

#### 4.3 > DNAチップの交流インピーダンス測定

図13にはくし型電極の代表的な測定結果(使用DNAはAla12および相補的なDNA)を示す。固定化後ではバッファー液のみに比べ上方へシフトした。この理由は固定化により、主として電気二重層容量が減少したためではないかと考えている。ハイブリダーゼーション後では固定化に比べ下方にシフトして、両者の間に入ってくる。なお、原因

は検討中であるが、複雑な現象が推察される。この傾向は、20枚中7割近くで確認された。

図14は、貼り合わせ電極の代表的な測定結果(使用DNAはAla-Ala)を示す。固定化後ではバッファー液のみに比べ上方へシフトした。10kHz以下の周波数領域では十分な直線性を示し、傾きは同じであり、電気二重層容量の変化が効いており、電荷移動抵抗はほとんど変化していないと考えられる。この理由はくし型電極同様、電気二重層容量が減少したためではないかと考えている。ハイブリダイゼーション後ではバッファー液やプローブDNA固定に比べ傾きが明らかに変化している。ここでは電荷移動抵抗の変化もあると考えられ、バッファー液やプローブDNA固定に比べ状態は明らかに変化している。このことから明らかに一本鎖DNAとハイブリダイゼーションによる二本鎖DNAを区別できる。この傾向は10枚中8枚で確認された。

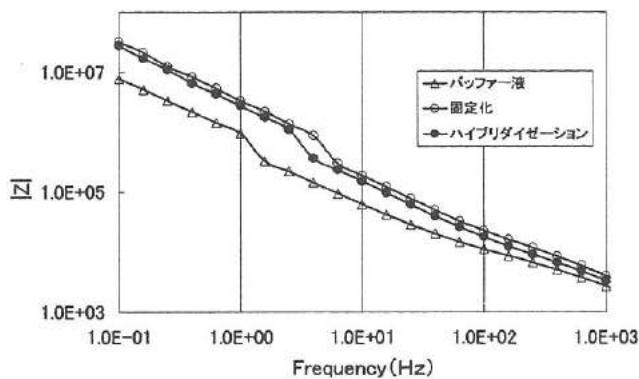


図13 くし型DNAチップの周波数-インピーダンス特性

Fig.13. Frequency-impedance characteristics of comb-shaped electrode.

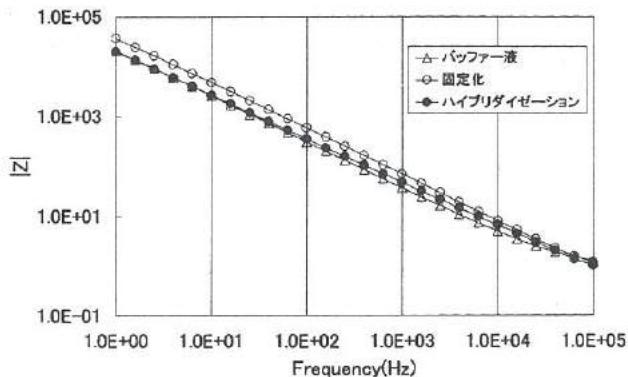


図14 DNAチップの周波数-インピーダンス特性

Fig.14. Frequency-impedance characteristics of sticking-matching electrode.

## 5. 結 言

本研究では糖尿病、肥満と関連のある遺伝子配列をプローブDNAおよびターゲットDNAとして用い、プローブDNAの固定化およびターゲットDNAとのハイブリダイゼーションの有無を高精度で検出する交流法の確立を行ったところ以下の結果が得られた。

- ① 親水性、ESCA分析結果からプローブDNAの固定化を確認した。
- ③ DNAチップの等価回路の実験から交流法による解析方法を確立し、DNAチップの測定結果と比較した。
- ④ 交流法により、プローブDNAの固定化、ターゲットDNAとのハイブリダイゼーションの有無を確認した。

## 文 献

- (1) Friedman: "The alphabet of weight control", *Nature* 385, 119-120 (1997)
- (2) Hashimoto: "Sequence-Specific Gene Detection with a Gold Electrode Modified with DNA Probes and an Electrochemically Active Dye", *Anal. Chem.* 1994, 66, 3830-3833
- (3) M.Takagi: "High-throughput, high-sensitivity detection of targeted genes by ECA(Electro-Chemical Array)", *Technical Digest of the 18th Sensor Symposium*, 2001, pp.387-393
- (4) M.Maeda: "Gene Sensor Using Functional Polymers", *Technical Digest of the 18th Sensor Symposium*, 2001, pp.381-386
- (5) M. Kobayashi, et.al., "Electrochemical Gene Detection Using Microelectrode Array and PCR", *JETRO*, September 2001, pp11-17
- (6) "遺伝子の一塩基置換SNPと点突然変異を検出する方法、並びに検出装置及び検出チップ"、特開2001-50931,
- (7) "DNAセンサおよびDNAの検出方法"、特開2000-125865,
- (8) "遺伝子の電気化学的検出法およびその装置"、特開平9-288080",
- (9) "ハイブリダイゼーション法"、特開平6-70799",
- (10) "交流インピーダンス法のリチウム二次電池内部診断への適用"、泊江研究所レポートNO. T88010
- (11) 逢坂ほか："電気化学法"、講談社、(1989)
- (12) "ハイブリダイゼーションの検出方法"、特願2002-331059  
若い研究者を育てる会研究論文集

# V. MEMSを応用した高精度温度センサの開発

Development of Highly Precise Temperature Sensor by Platinum Thin Film  
using Micro-machining Technology

今村 徹治

IMAMURA Tetsuji

小幡 勤

OBATA Tsutomu

鍋澤 浩文

NABESAWA Hirofumi

藤城 聰史

FUJIKI Satoshi

岩坪 聰

IWATSUBO Satoshi

丹保 豊和

TAMBO Toyokazu

## Abstract

We have studied to establish the forming technology of platinum thin film on Si substrates that show the bulk TCR. In the present study, we fabricated diaphragm-type temperature sensors by using silicon micro machining technology. The platinum thin film was deposited on MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> multi-layer in an Ar pressure of 5 mTorr at a substrate temperature of 600°C by radio frequency (RF) magnetron sputtering. Then the film was annealed at 600°C for 3 hours in N<sub>2</sub> atmosphere. Both of the as-sputtered and annealed films were observed by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD), and then they were measured about the property of electrical resistance. By SEM observation of the films, smooth surface and regular grain structure were seen. Furthermore, strong (111) orientation normal to the surface was found by XRD analysis. The TCR value of annealed film was 3784 ppm/°C which equals to that of as-sputtered one. It was found that the film was chemically stable. Diaphragm-type sensor chips were formed using the above sputtered platinum thin films and the thermal response speed was measured using a specific holder in an oil bath unit.

## 1. 緒言

白金測温体は、産業用機器・自動車・OA 機器・家電機器等の温度計測・制御に幅広く使用されている。白金は化学的に安定な物質であり、白金の抵抗値が広い温度域で温度と比例関係を持つことから、汎用の温度センサの校正にも用いられている。

現在市販されている白金測温体は、白金巻線方式や厚膜方式が主流である。これらは、製造が容易で、大量生産に向いているため幅広い分野で使用されている。

しかしながら、家電機器や自動車をはじめとする様々な製品群において、今まで以上に小型で熱応答性<sup>1)</sup>の高い白金測温体が要求されている。また、温度変化が激しく、高温多湿の環境で使われる所以、耐環境性や化学安定性に注意を払う必要がある。

他方、白金測温体は JIS<sup>2)</sup>によって規格化されているが、今後は高抵抗化に進んでいくものと予想されている。これは、産業機器等において精度の高い温度制御が求められているためであり、これから白金測温体開発は、小型化と高抵抗化を両立させる必要がある。

このような背景から、本研究では、スパッタリング法を用いた薄膜作製技術とシリコンマイクロマシニング技術を併用して、高精度温度センサを開発することにした。すなわち、スパッタリン

グ法によりバルクや厚膜に匹敵する白金薄膜を実現することと、シリコンマイクロマシニング技術による微細抵抗パターンと熱応答性の高いシリコン構造体の形成がそのねらいである。

## 2. センサチップの構造と温度測定原理

### <2. 1>センサチップの構造

図1は本研究で開発した高精度白金温度センサチップの構造である。センサチップの大きさは、3.7mm 角、厚みは 0.2mm である。シリコンのダイアフラム構造体（ダイアフラムの厚みは 20 μm）上面に、絶縁層が形成されている。この構造により、熱応答性を高めることができる。また、絶縁層は、シリコン基板との絶縁を取りだけではなく、白金薄膜の結晶性、緻密性改善、熱応力制御など重要な役割を担っている。絶縁層上の白金抵抗パターンは、フォトリソグラフィ技術により、幅と厚みがそれぞれ 5 μm と 0.5 μm に形成され、0°C 抵抗値が 1kΩ になるよう設計されている。また、抵抗値を微調するための、トリミングパターンを中心設けてある。抵抗値を四端子法で計測するため、ダイアフラム構造体のフレーム部には 4 個のリード線取り出し端子を設けている。白金パターンは耐湿性を高めるため、端子部分以外はガラスコーティングを施してある。

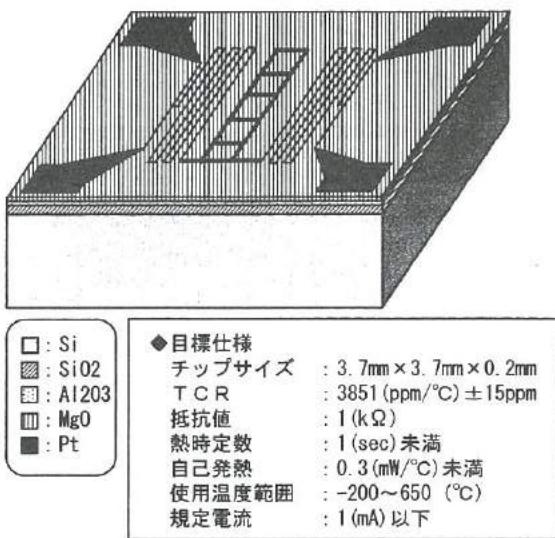


図1. センサチップの構造

Fig.1. Schematic illustration of the sensor chip.

#### <2. 2> 温度測定原理

白金は、広い温度域で抵抗値とほぼ比例関係を持っており、抵抗値を正確に測定することで、白金に接触している物体や雰囲気の温度を測定することができる。JISには、基準抵抗値を算出する式として、下記を定義している。

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

ここで、 $t$  は測定したい対象物の温度 (°C) であり、 $R_t$  び  $R_0$  は、それぞれ温度  $t$  °C と 0°C における抵抗値である。このとき、 $R_{100}/R_0$  を抵抗温度係数 (Temperature Coefficient of Resistance : 以下 TCR) と呼び、センサの感度を決定するパラメータになっている。白金の場合、パルク値が 3960 ppm/°C であり、JIS にはそれより若干値の劣る 3851 ppm/°C で規定されている。

### 3. 実験方法

シリコン基板上に白金薄膜を形成し、小型・高感度のセンサを作製する場合、膜の厚みや幅が、厚膜型と比較して数分の 1 程度になるため、結晶粒界や抵抗表面における電子の散乱、薄膜の結晶配向性、下地界面との熱膨張率の違いや成膜条件による薄膜の内部応力などを考慮する必要がある。そのため、シリコン基板と白金薄膜の間には、単に絶縁を取るだけではなく、これらの諸条件を満たす絶縁膜を形成する必要がある。

そこで、本研究においては、代表的な絶縁材料である MgO をスパッタリング法により着膜を行い、結晶性、緻密さ、耐熱性について評価を行った。その後、最も性能の優れた MgO 絶縁膜上

に白金を成膜して、TCR と結晶性、緻密さの評価を行った。

TCR の測定は、センサチップをフロン系溶媒で満たされたオイルバスに浸漬して行った。センサチップには、JIS で規定された 1mA の電流を流した。白金測温体は低抵抗であるため、配線による電圧降下が無視できないことから本研究では、四端子法を用いて抵抗値を測定する。オイルバスの温度管理は、市販の白金測温体を使用した。図2は、TCR の測定に用いた治具の写真である。この治具を用いることで、ワイヤボンディング (リード線取り出し) の行程が不要になり、容易に抵抗値が測定できるようになった。また、治具は、センサ表面を流れるフロン系溶媒の循環を妨げない構造に構成されている。TCR は、0°C と 100°C の抵抗値から求められた。TCR の測定誤差は、測温体の測定誤差は ±0.1°C であることから、3~4 ppm/°C に相当する。

最後に、センサチップを作成し、熱応答特性の評価を行った。熱応答特性は、シリコンのダイアフラム構造を持つセンサチップとダイアフラム構造を持たないセンサチップを作製し、0°C のオイルバスから 100°C のオイルバスに移して、センサチップが 100°C の抵抗値を示すまでに要する時間を比較することで行った。

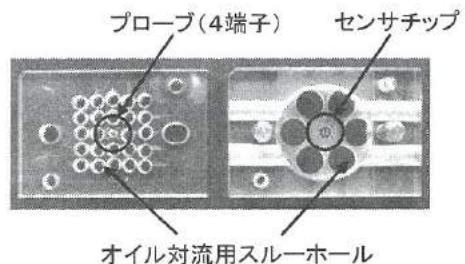


図2. TCR 測定用ジグ

Fig.2. Sensor holder for measuring TCR.

### 4. 実験結果

#### <4. 1> 絶縁膜の選択と成膜、評価

絶縁膜の成膜方法としては、融点が高い材料でも比較的高速着膜が可能で、密着強度に優れたマグネットロン RF スパッタリング法 (株式会社 ULVAC SH-250) を用いることにした。絶縁材料としては、厚膜型白金測温体で実績のある Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と 3Y-ZrO<sub>2</sub> と、比較的低温で結晶成長が可能な MgO と SrTiO<sub>3</sub> が挙げられる。それぞれの特性を表1に示す。Pt は立方晶の結晶構造を持つため、六方晶の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や正方晶の 3Y-ZrO<sub>2</sub> 上では緻密な膜を形成することは困難である。また、SrTiO<sub>3</sub> は立方晶で Pt と格子定数が近いため、絶縁層に適した材料であるが、3つの元素より構成されているため、マグネットロン RF スパッタリング法で組成を制御することは容易ではない。一方、MgO は立方晶の結晶構造を持ち、格子定数も Pt に近い。このことから、本研究では絶縁膜として MgO を用いることにした。

表1. センサチップ材料の特性

Table 1. Characteristics of materials for sensor chip.

	結晶構造	格子定数(Å)	熱膨張係数 ( $\times 10^{-6}/\text{K}$ )
Pt	立方晶	3.9	8.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	六方晶	4.8	5.3
3Y-ZrO <sub>2</sub>	正方晶	5.1	10.3
MgO	立方晶	4.2	10.4
SrTiO <sub>3</sub>	立方晶	3.9	11.1
Si	立方晶	5.4	2.5

## &lt;4. 2&gt; MgO 絶縁膜の作製

マグネットロン RF スパッタリング法により、表2に示す条件で MgO 絶縁膜を形成した。

表2. MgO のスパッタリング条件

Table 2. Sputtering conditions of MgO.

基板	Si(100)
基板温度	600°C
背圧	$2 \times 10^{-5}$ Torr
ターゲット	MgO
スパッタ方式	マグネットロン RF スパッタ
スパッタリングガス	Ar:O <sub>2</sub> =9:1 (total 10 sccm)
Rf Power	200W
スパッタリング圧	$5 \times 10^{-3}$ Torr
成膜レート	$\sim 30 \text{ \AA/min}$
成膜時間	45min

基板温度は、ターゲットから基板表面に飛来した原子に運動エネルギーを与える、膜の緻密さ、平滑さ、結晶構造、内部応力等のあらゆるパラメータに影響を与えるため、室温と 600°C の 2 つの条件で成膜を行った。プロセス圧とスパッタリングガス、膜厚は同じ条件とした。

図3に、成膜後のSEM写真を示す。室温で成膜したMgO薄膜は、島状に成長しており表面が粗い。一方、600°Cで成膜したMgO薄膜は、島の間が繋がって連続的になり、表面が平滑になっている。600°Cで成膜したMgO薄膜は、スパッタリング原子の持つ運動エネルギーが大きいため、表面拡散が活発に行われたためと考えられる。

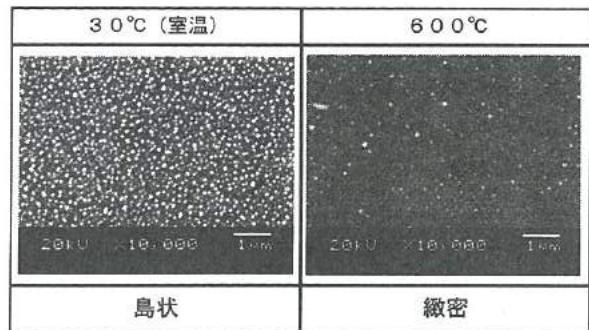


図3. MgO 絶縁膜の SEM 写真

Fig. 3. SEM image of MgO films.

図4は、600°Cで成膜したMgO薄膜のX線回折結果を示している。(100)と(111)の2つのピークが観測されるが、(100)に特に強く配向している。これは、MgOが面心立方構造を取るため、凝集エネルギーの最も低い方位(100)に自己配向するためと考えられる。

次に、この薄膜を600°C窒素雰囲気でアニーリングを行った。このアニーリングは、薄膜中に存在する内部応力の緩和と結晶性改善を目的としている。また、本研究で目標とする白金測温体の使用温度範囲が600°C前後であるため、この温度付近で化学的にも安定であることが必要となってくる。

図5は、アニーリングを行った後のSEM写真を示している。膜中にクラックが発生している事が確認された。また、アニーリング後のX線回折結果においても、結晶性が改善されておらず、アニーリングの効果は見られなかった。

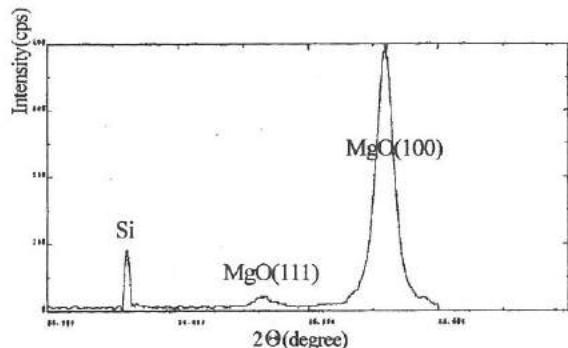


図4. MgO 薄膜の XRD 結果

Fig. 4. XRD pattern of MgO film.

そこで、SiとMgO薄膜の間に、両者の中間の熱膨張係数を持つAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜を形成することにした。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の着膜条件は、MgOと同様である。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はMgO比較して、高温域でなければ結晶成長しないのでアモルファスになる。よって、MgOの自己配向性にはほとんど影響を及ぼさない。

図6は、Si上にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とMgOを成膜し、600°Cで窒素雰囲気アニーリングを行った後のSEM写真である。クラックが生じておらず、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜が熱応力の緩和に効果があることを示している。X線回折については、図4と同じく、(100)方位により強く配向していることを確認した。

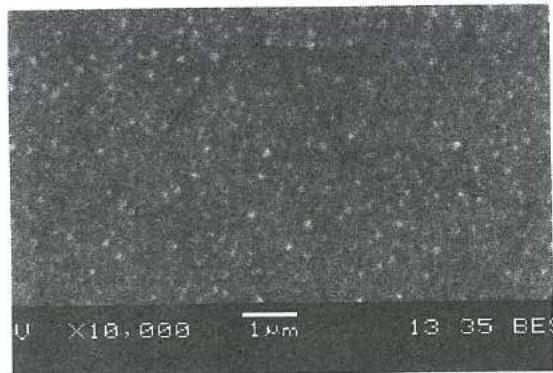


図5. アニール後のMgO絶縁膜(クラック発生)

Fig.5. SEM image of MgO film after annealing.

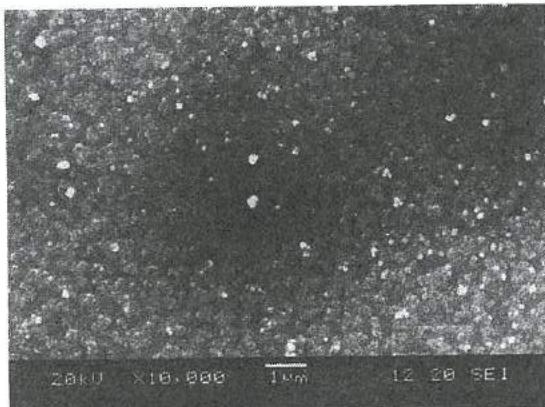


図6. アニール後のMgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>絶縁膜(クラック無し)

Fig.6. SEM image of MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> film after annealing.

#### <4. 3> MgO絶縁膜上の白金薄膜の作製

4. 2で最適化を行ったMgO絶縁膜上に、白金薄膜を形成した。成膜手法は、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と同様、マグネットロンRFスパッタリング法を用いた。表3は成膜条件を示す。バルクに近いTCRを得るためにには、緻密で表面が平滑な膜を形成する必要がある。また、結晶性はある特定の方位に強く配向していることが求められる。結晶格子の不規則な配列は、電子の散乱を引き起こすためである。これらのことから、成膜温度は、装置の限界である600°Cに設定した。

図7は、この白金薄膜のX線回折結果を示す。(111)方位に強く配向している。リファレンスは、3Y-ZrO<sub>2</sub>セラミックス基板

表3. Ptのスパッタリング条件

Table.3. Sputtering condition of Pt.

基板	MgO/Si(100)
基板温度	600°C
背圧	2 × 10 <sup>-5</sup> Torr
ターゲット	Pt
スパッタ方式	マグネットロンRFスパッタ
スパッタリングガス	Ar (10sccm)
Rf Power	100W
スパッタリング圧	5 × 10 <sup>-3</sup> Torr
成膜レート	~40 Å/min
成膜時間	14min30sec

板上の白金薄膜を用いている。これは、セラミックス基板の中では、3Y-ZrO<sub>2</sub>セラミックス基板が、最も(111)配向が強く、良好なTCR値が得られたためである。これは、他のセラミックス基板と比較して、表面が平滑で白金の格子定数に近いため、膜が緻密に形成され、白金薄膜と基板界面における電子散乱が抑制されたためと考えられる。このリファレンスに比較して、この白金薄膜は、著しく(111)配向していることが確認できた。それは、3Y-ZrO<sub>2</sub>セラミックス基板に比較して、MgO絶縁膜の表面粗さが平滑であり、また、結晶構造ならびに格子定数が、白金に類似しているためと考えられる。この結果は、3Y-ZrO<sub>2</sub>セラミックス基板に比較して膜質が良好であることを示している。

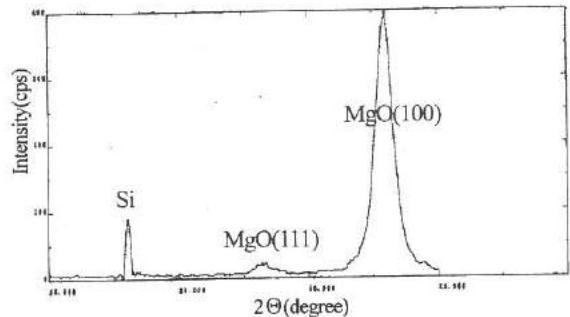


図4. MgO薄膜のXRD結果

Fig.4. XRD pattern of MgO film.

図8は、この薄膜のSEM写真を示す。緻密で平滑な表面が形成されている。この白金薄膜を、フォトリソグラフィ及びイオンミリング技術を用いて抵抗パターンを形成した。この膜についてTCRの測定を行ったところ、3759ppm/°Cの結果が得られた。しかし、この白金薄膜を600°Cで3時間、窒素雰囲気中でアニーリングを行ったところ、TCR値が3370ppm/°Cに減少した。これはシリコン基板のシリコンが、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とMgO膜を移動し、Pt-Si結合を形成したことが原因と推測される。

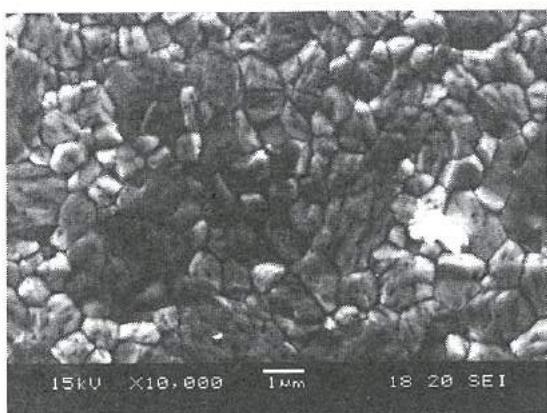


図8. MgO 上の白金薄膜の SEM 写真

Fig.8. SEM image of Pt thin film on MgO buffer layer.

図9は、アニーリング後のX線回折結果を示しているが、Pt-Siと同定されるピークが確認された。一般的にスパッタリング法で作製したAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とMgO膜は、化学量論的な組成に比較して酸素欠損することが知られており、結合手の余ったAlやMg等の活性な金属原子を介してSi原子が白金薄膜に取り込まれるものと考えている。また、スパッタリング法で作製した薄膜は、基板温度を上げて緻密化を図っても、バルク材料と同等にはなりえない。そのため、ある程度の運動エネルギーを持った原子が周囲の原子に

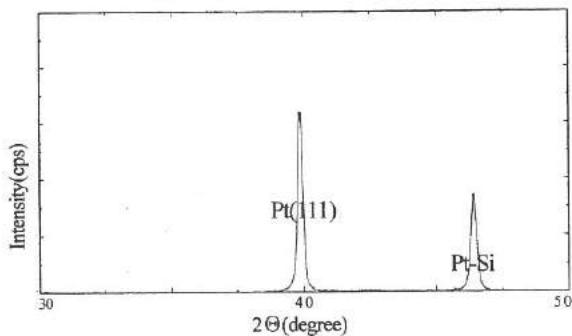


図9. アニーリング後のPt/MgO 薄膜のXRD 結果

Fig.9. XRD pattern of Pt thin film after annealing.

束縛されにくいことも、理由の一つと考えられる。

そこで、今まで使用してきた絶縁膜とシリコン基板の間に、スパッタリング膜よりも緻密で、化学的に安定な熱酸化膜を導入して、白金成膜を行った。図10は、この膜のアニーリング後の抵抗温度特性結果を示している。TCRは、0.5 μmの膜厚にも関わらず、3784 ppm/°Cを示し、アニール前と変化していないことを確認した。このことから、熱酸化膜の導入が、Pt-Si結合を抑制しているものと考えられる。また、抵抗値が温度に比例していることを確認した。

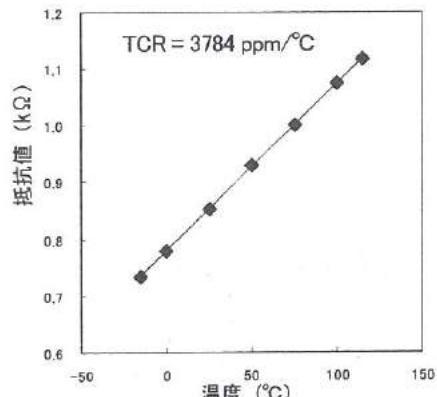


図10. センサチップの抵抗温度特性

Fig.10. Resistance of Pt thin film as a function of test temperature for TCR calculation.

#### 4. MEMSを応用した白金温度センサの作製

前述の絶縁層と白金薄膜の条件を用いて、センサチップの作製を行った。図11は、白金温度センサの作成フローを示している。

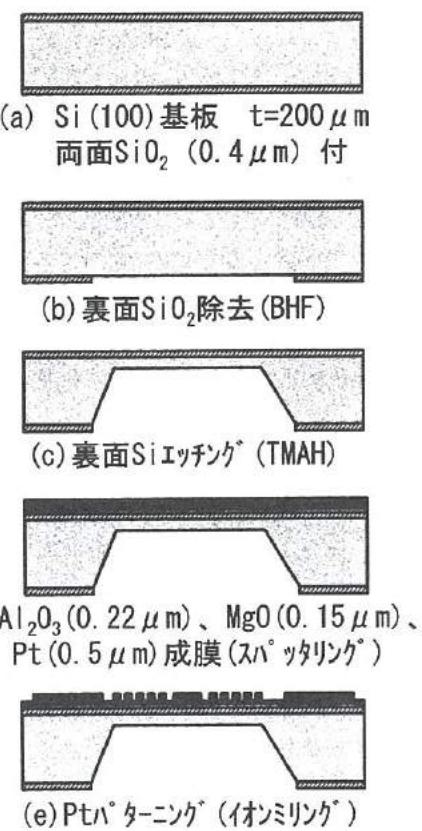


図11. センサチップの工程フロー

Fig.11. Process sequence of sensor chip.

基板は、 $200\mu\text{m}$  のシリコン(100)基板を用いた。この基板は熱酸化膜  $0.4\mu\text{m}$  が形成してある。(a)～(c)でシリコンのダイアフラム構造を形成した後に、絶縁膜と白金膜をスパッタリング法により形成する。(e)で、フォトリソグラフィ技術とイオンミリング技術により白金薄膜のパターニングを行った。

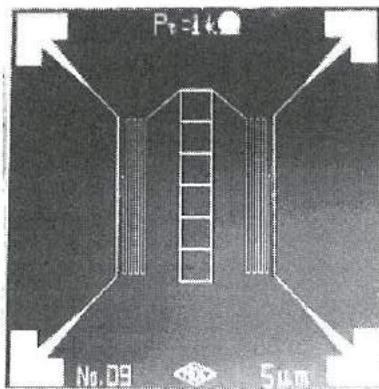


図12. 作製したセンサチップ

Fig.12. Top view of the sensor chip.

図12は、センサチップの外観を示す。イオンミリング法により白金抵抗パターンの線幅は、設計通り  $5\mu\text{m}$  に形成されている。ダイアフラム構造が熱応答特性に優れていることを確認するため、Si基板(ダイアフラム有り)、Si基板(ダイアフラムなし)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板、 $3\text{Y}-\text{ZrO}_2$ 基板の4種類の基板を用いたセンサチップについて、熱応答特性の違いを測定した。図13は、これらの熱応答特性を示す。

- Si基板(ダイアフラム有り) ▲  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板
- Si基板(ダイアフラム無し) ×  $\text{ZrO}_2$ 基板

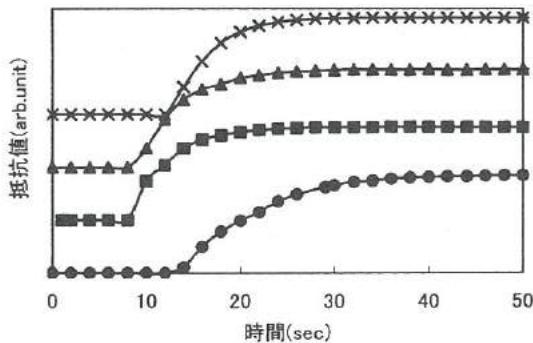


図13. 热応答特性

Fig.13. Time response of the sensor chips.

このグラフから、 $0^\circ\text{C}$ から  $100^\circ\text{C}$ に達する時間は、Si基板(ダイアフラム有り)、Si基板(ダイアフラムなし)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板、 $3\text{Y}-\text{ZrO}_2$ 基板の順で、38秒、22秒、18秒、14秒であることが確認できる。ダイアフラム構造を持つセンサチップが、他のセンサチップに比較して低速になった理由は、ダイアフラム構造によりオイルの対流が妨げられたためと考えられ、更なる検討が必要である。一方、ダイアフラム構造を持たない3種類のセンサチップについては、基板形状が同一であるため、純粋に基板材料の違いによる熱応答特性として評価できる。一般的に、非定常状態(外気温が時間的に変化する状態)の熱伝導は、比熱と熱伝導率、材料密度から求められる温度拡散率によって決定され、この数値が小さいほど環境温度の変化に対する応答性が悪いことを意味している。Si、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $3\text{Y}-\text{ZrO}_2$ の温度拡散率は、それぞれ  $25$ 、 $3.4$ 、 $0.27$  ( $\times 10^{-5}\text{m}^2/\text{sec}$ ) であり、基板材料の熱伝導特性が、センサチップの熱応答特性に準じていることが確認できた。

## 5. 結 言

本研究では、シリコンのダイアフラム構造を持つ白金温度センサを開発するために、その要素技術となる絶縁薄膜と白金薄膜の形成について検討を行い、その結果を応用して白金温度センサの試作ならびに評価を行った。その結果、以下の成果が得られた。

- ① シリコンを基材として、良質な白金薄膜を形成するために、絶縁層として、 $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 多層膜が望ましい。
- ② ①の絶縁層上に白金薄膜を形成、パターニングを行ったところ、 $\text{TCR}=3784\text{ppm}/\text{C}$ が得られた。この値は、白金薄膜の膜厚が  $0.5\mu\text{m}$  に対して、良好な値と考えている。
- ③ ②の白金薄膜は、 $600^\circ\text{C}$ 、3時間の窒素雰囲気アニーリング前後で、TCRにはほとんど変化が見られず、化学的にも安定であることが確認された。
- ④ マイクロマシニング技術により、ダイアフラム構造を持つセンサチップを作製した。
- ⑤ センサチップの熱応答特性は、基板材料の温度拡散率に準じていることを確認した。

## 謝 辞

本研究にあたって、各種治具を製作して頂いた富山県工業技術センター 中川 章氏、並びに北陸電気工業(株) 深山 信幸氏に感謝致します。また、マイクロマシニング技術について助言を頂いた北陸電気工業(株) 桑原 大輔氏に厚く御礼を申し上げます。

## 文 献

- (1) 日本工業規格 JIS C 1604-1997: 測温抵抗体、日本規格協会
- (2) 三橋雅彦、大屋誠志郎ほか:「サブミリサイズ白金薄膜測温素子の热応答性」、神奈川県産業技術総合研究所研究報告、No.3, p.55-56(1997)

## VI. アルミ飲料容器の形状評価手法の開発

Development on shape evaluation method for beverage can manufactured by press forming

清水 歩  
SHIMIZU Ayumi  
浅田 峰夫  
ASADA Mineo

塚本 吉俊  
TSUKAMOTO Yoshitoshi  
長柄 育一  
NAGAE Takekazu

中川 章  
NAKAGAWA Akira  
藤城 敏史  
FUJIKI Satoshi

### Abstract

An automated inspection system of pressed form for aluminum beverage cans, was developed. In order to measure three dimensional shape of an aluminum can without contact, a computing system was developed to evaluate directions of normal to the can surface. Photometric stereo method using three images of the object under different illuminations was employed to make this system. High precision measurement was realized with this system when the specimen has a Lambertian surface and a interreflection free shape. But we found that the metallic luster of the object decreased the accuracy of the evaluation value.

### 1. 緒言

工場における生産ラインでは、コンピュータ制御機器の普及により自動化・省力化がすすみ、製品品質もある程度安定した生産が可能となってきている。しかしながら、世界的な ISO9000 シリーズによる品質システムの導入により、納入先からの品質に対する要求が厳しくなる一方で、コストダウンの要請も強まっている。品質の維持・向上には精密な計測が重要であるが、生産工程の総合的なコストダウンやスピードアップのためにも、検査工程の自動化が求められている。

製品形状の評価については、触針式の形状測定機による測定が精度及び信頼性で優れているが、設置環境の問題や測定物のセッティングの手間、測定と解析に時間がかかるなどの理由から、自動検査用途には不向きである。

そこで本研究では、検査工程の自動化と測定精度の向上を視野において、画像処理技術を応用したアルミ飲料容器の形状評価手法の開発を行う。

### 2. 実験方法

#### <2. 1> 測定対象物及び測定項目

本研究で対象とする測定物は、図 1 に示すアルミ飲料容器である。また測定項目は、スカート部の接線と天面の接線とのなす角で定義されるスカート角度である。

#### <2. 2>三次元画像計測法

画像処理を用いた三次元計測には、2 台のカメラの視差を利用するステレオ視法、カメラを移動させてその視差を利用する連続画像法、スリット光などの特定のパターンを投光してそのずれを解析するアクティブステレオ法などがある<sup>(1)</sup>。

照度差ステレオ法は、物体表面の明るさが光源と物体表面との角度に依存することを利用することで、固定カメラによる光源方向の異なる複数の濃淡画像から、物体表面の法線方向ベクトルを逆算する手法である<sup>(2) - (4)</sup>。その特徴として、通常のステレオ視法で問題となる画像間の対応



図1 測定物及び測定項目

Fig.1 Quantity to be measured

付けの問題が回避されること、法線ベクトルが画素の分解能で求められること、また特殊な装置を必要とせず普通の光源を利用できることから、本研究において適用の可能性について検討した。

### <2. 3> 照度差ステレオ法の原理

図2は照度差ステレオ法の座標系を示したものである。制約条件として、カメラ及び光源と物体との距離は十分遠いものとする。これより、光源は平行光線照明に、また観測座標系は物体座標系の直交投影となるため、物体面における輝度  $I(X, Y, Z)$  は、Z軸上に設置されたカメラによって、画素の明るさ  $I'(X, Y)$  として観測される。

いま、光源方向の単位ベクトルを  $s$ 、観測方向の単位ベクトルを  $v$ 、物体面の単位法線ベクトルを  $n$  と定義すると、

$$s = (\sin \alpha \cos \beta, \sin \alpha \sin \beta, \cos \alpha) \quad (1)$$

$$v = (0, 0, 1) \quad (2)$$

$$n = \frac{(-p, -q, 1)}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \quad (3)$$

となる。ただし、 $\alpha$ は光源方向の天頂角、 $\beta$ は光源方向の方位角である。また、 $(p, q)$  は面素の傾きをあらわすパラメータで、

$$p = \frac{\partial Z}{\partial X}, \quad q = \frac{\partial Z}{\partial Y} \quad (4)$$

である。

一般に物体からの反射光は、環境光による反射成分と拡

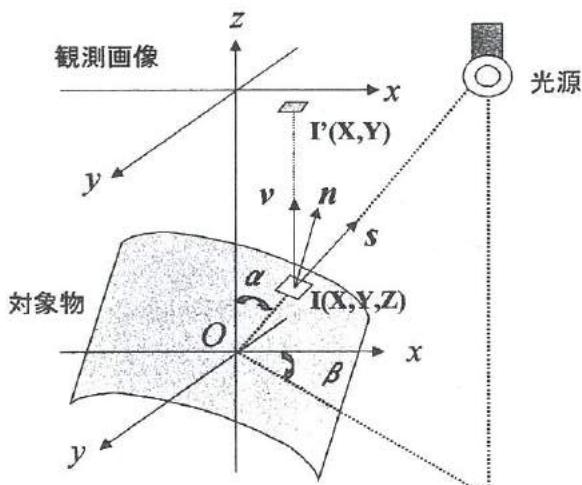


図2 照度差ステレオ法の座標系  
Fig. 2 The coordinate of Photometric Stereo

散反射成分、鏡面反射成分が合わさったものとなるが、物体表面を完全拡散面と仮定すれば、観測される反射光の強さは、Lambertの余弦則に従って、

$$I'(X, Y) = k(n \cdot s) \quad (5)$$

となる。ただし、 $k$ は物体面の反射係数である。

ここで、3つの異なる光源による反射光  $I_1, I_2, I_3$  を考え、式(5)に式(1)と式(3)を代入すれば、

$$I_i = k \frac{-p \sin \alpha_i \cos \beta_i - q \sin \alpha_i \sin \beta_i + \cos \alpha_i}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1}} \quad (i=1, 2, 3) \quad (6)$$

となる。式(6)において、 $I_i, \alpha_i, \beta_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) は既知であり、 $k$ は特に求める必要がないので、 $I_1, I_2, I_3$  相互の比をとつて得られる3つの式

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{-p \sin \alpha_1 \cos \beta_1 - q \sin \alpha_1 \sin \beta_1 + \cos \alpha_1}{-p \sin \alpha_2 \cos \beta_2 - q \sin \alpha_2 \sin \beta_2 + \cos \alpha_2} \quad (7)$$

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{-p \sin \alpha_2 \cos \beta_2 - q \sin \alpha_2 \sin \beta_2 + \cos \alpha_2}{-p \sin \alpha_3 \cos \beta_3 - q \sin \alpha_3 \sin \beta_3 + \cos \alpha_3} \quad (8)$$

$$\frac{I_3}{I_1} = \frac{-p \sin \alpha_3 \cos \beta_3 - q \sin \alpha_3 \sin \beta_3 + \cos \alpha_3}{-p \sin \alpha_1 \cos \beta_1 - q \sin \alpha_1 \sin \beta_1 + \cos \alpha_1} \quad (9)$$

を連立させて解くことによって、 $(p, q)$  を求めることができる。

### <2. 4> 実験システム

図3はシステムの構成図である。今回の実験装置として、デジタルビデオカメラの出力をパソコンに静止画（640 画素×480 画素）として取り込み、解析部分を切り出して照

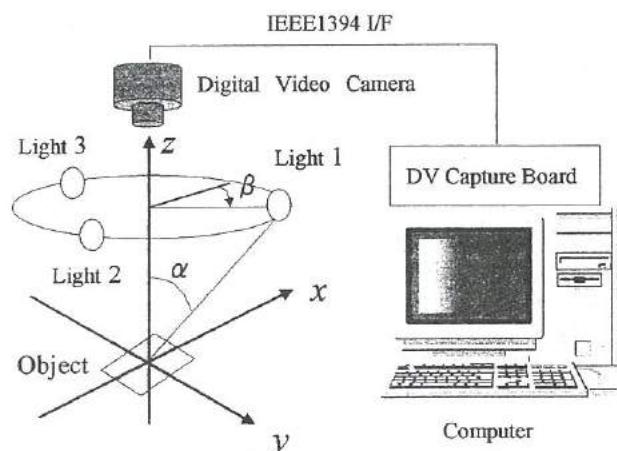


図3 システム構成図  
Fig. 3 System configuration



図4 処理のフローチャート  
Fig. 4 Algorithm for determining shape

度差ステレオ解析の入力画像(256画素×256画素)とした。

3つの光源は、距離が座標原点から1.7mで一定とし、

Light1 ( $\alpha_1=33.0^\circ$  ,  $\beta_1=1^\circ$  )

Light2 ( $\alpha_2=40.7^\circ$  ,  $\beta_2=145^\circ$  )

Light3 ( $\alpha_3=41.6^\circ$  ,  $\beta_3=215^\circ$  )

の位置に設置した。また、カメラはZ軸上で座標原点から0.8m離れたところに固定した。

図4は、作成したデータ処理ソフトウェアのフローチャートである。

### 3. 実験結果

#### <3. 1> CG画像による法線ベクトルの推定例

図5は、計算機シミュレーションで作成した完全拡散面をもつ理想球(中心座標X=128, Y=128;半径100画素)による反射モデルである。

光源条件は、それぞれ実験システムと同じ、

図5(a): ( $\alpha_1=33.0^\circ$  ,  $\beta_1=1^\circ$  )

図5(b): ( $\alpha_2=40.7^\circ$  ,  $\beta_2=145^\circ$  )

図5(c): ( $\alpha_3=41.6^\circ$  ,  $\beta_3=215^\circ$  )

である。

図6は、図5の(a)、(b)、(c)を入力画像として計算した法線ベクトルを、観測座標平面に投影して表示したものである。各点の矢印は、対応する面素の法線ベクトルの方向と大きさを示したものであり、投影された球の中心(X=128, Y=128)から外縁に向かって、放射状に分布していることを表している。

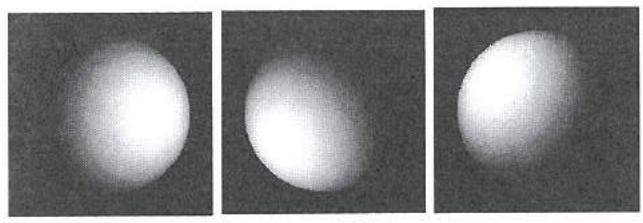


図5 原画像(計算機シミュレーションによるCG画像)  
Fig. 5 Original Images

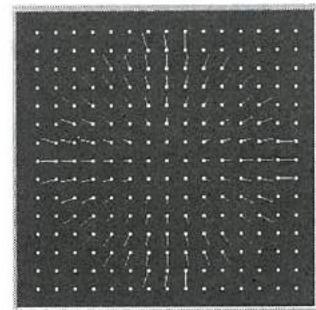


図6 法線ベクトルの分布図  
Fig. 6 An Example of Normal Vector Map

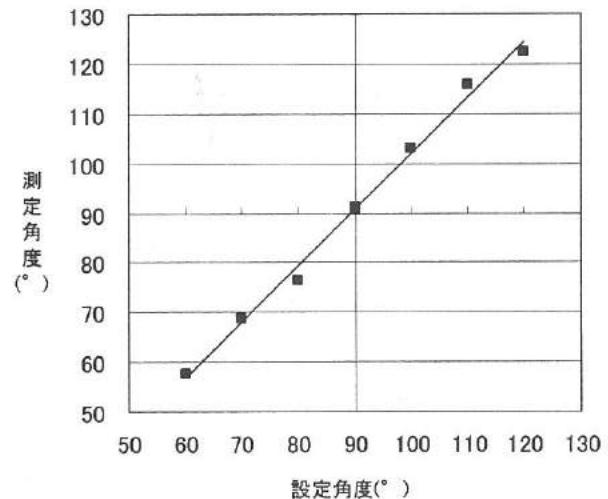


図7 照度差ステレオ法の角度誤差  
Fig. 7 Angular accuracy

#### <3. 2> 角度精度

図7は、白色平板(73mm×55mm)を水平(法線ベクトルとY軸とのなす角が90°)からX軸のまわりに±30°まで10°ずつ傾けた状態を撮影し、面の傾き(法線ベクトルとY軸とのなす角)を計算した結果を示したものである。

面の傾きの計算は、計算対象画素（256 画素×256 画素）中、左端付近（X=40 画素）、中央付近（X=128 画素）、右端付近（X=216 画素）の 3箇所で Y 軸方向の全長（256 画素）で計算したものを平均して求めた。

この結果、今回の実験システムは  $90^\circ$  を中心にして、 $+30^\circ$  で  $2.3^\circ$  程度、 $-30^\circ$  で  $-2.5^\circ$  程度の誤差が見込まれることがわかった。

### <3. 3>スカート角度の測定

図 8 は、アルミ飲料容器のスカート部を解析した画面出力の例である。図中の①、②、③はそれぞれ、3つの光源により撮影された画像、④は計算された法線ベクトルの分布、⑤はこれをもとに復元した3次元形状を表している。⑥、⑦、⑧はそれぞれ、④の縦軸カーソル位置における輝度分布、面の向き、断面形状である。

このプログラムにより、サンプル缶の全周について 12 分割して、スカート角度を測定した結果を図 9 に示す。比較のために、触針式の形状測定機による測定結果を合わせ

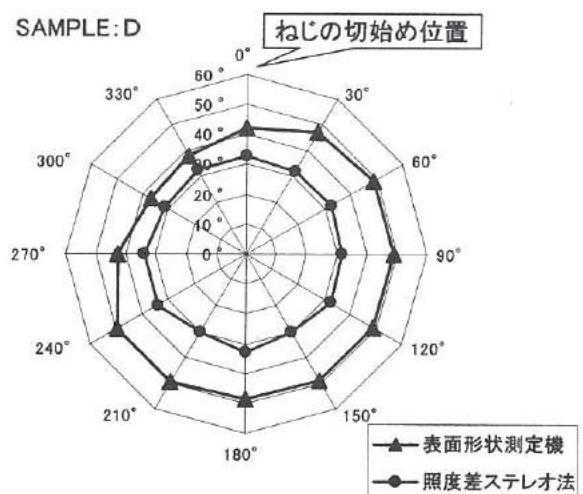


図9 スカート角度の測定結果  
Fig. 9 Measured Angles

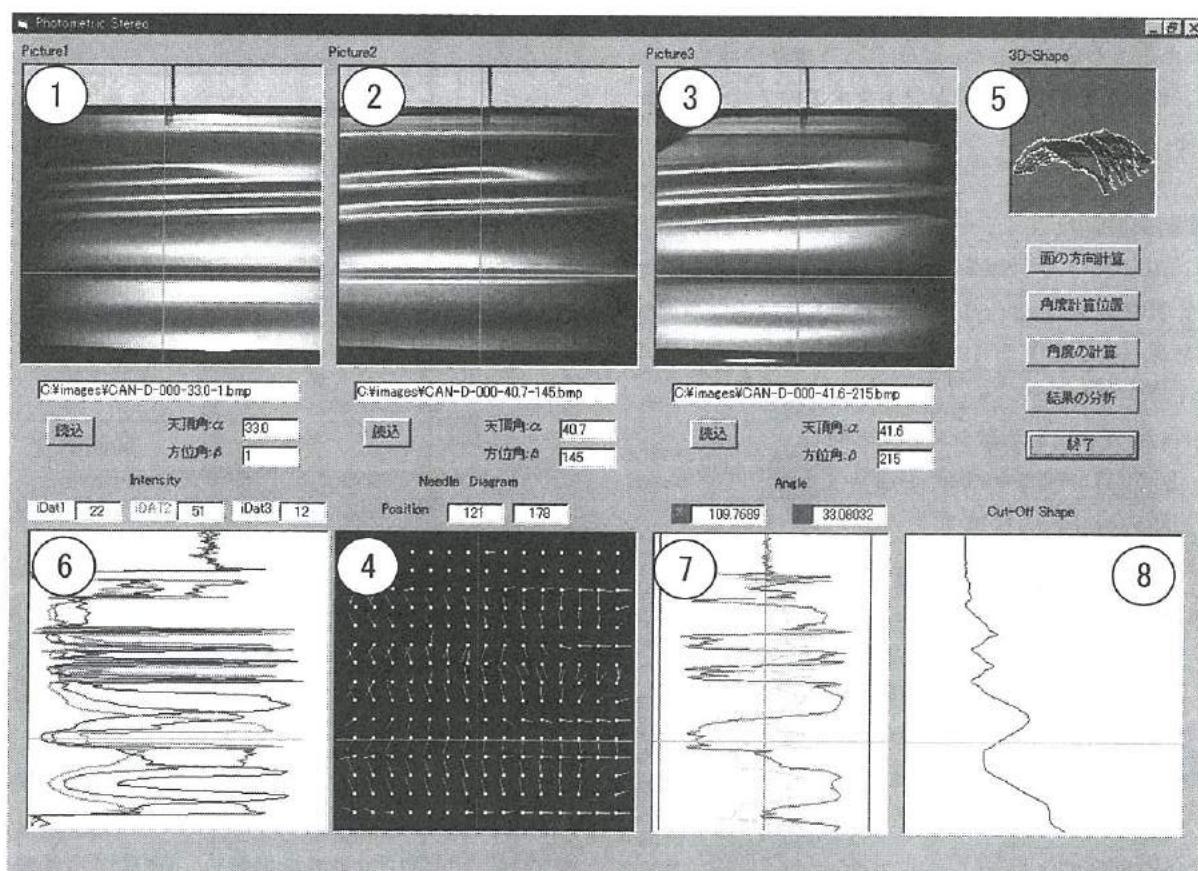


図8 スカート角度の解析例  
Fig. 8 An Example of Analysis

て示した。なお、スカート角度を測定する場所は、缶の天面から 16.5 mm 下方の位置で一定とした。

この結果、形状測定機では、実際の形状を反映して  $38^\circ \sim 50^\circ$  の角度の違いが測定されたが、照度差ステレオ法では、どの測定個所でも  $32^\circ$  前後でほぼ一定となり、形状測定機の測定結果との関連性は見られなかった。

#### <3. 4> 誤差の要因の検討

アルミ飲料容器の照度差ステレオ法による測定は、現状では誤差が大きく、実用のためには誤差軽減の対策が必要である。照度差ステレオ法の誤差要因としては、①対象物体上のハイライト、②光線の二次反射、③光学系の誤差などが考えられる。

①のハイライトは、鏡面反射成分のため特に強い輝度を持ったもので、ハイライトのある面素は、その原因となった光源の方向に傾いたものと計算される。

図11は、計算対象となる画素にハイライトある場合の影響をシミュレーションした結果である。図10(a)に示すハイライトがあるモデルと(b)に示す完全拡散反射のモデルで法線ベクトルの方向を求めた。図から、ハイライト部分では法線ベクトルが次第に光源方向に向き、ハイライトの中心では光源方向( $60^\circ$ )と一致しているのがわかる。

実験に用いたアルミ飲料缶のねじ部は金属光沢がみられ、ハイライトの影響を強く受けている。

②の光線の二次反射は、本来の光源によって照らされた面素の反射光が、新たな光源となって他の面素を照らすことによる誤差である。これは、対象物体に凹状の部位がある場合に起こりうる。二次反射によって照らされた面素は、本来の輝度に比べ相対的に増すため、実際の角度とは異なる傾きで観測される。

図13及び図14はそれぞれ、水平に対して  $45^\circ$  と  $135^\circ$  の傾きを持つ凸型ブロック(図12(a))とVブロック(図12(b))を解析した結果である。

二次反射の影響がない凸型のブロックでは、各面の傾きは  $45^\circ$  と  $135^\circ$  近くの値が計測された。一方、Vブロックの場合は、谷底に向かうにつれ、すべての画像の輝度が大きくなり、計測された角度もおよそ  $65^\circ$  と  $115^\circ$  で約  $20^\circ$  の誤差が認められた。

実験に用いたアルミ飲料缶についても、スカート部の下

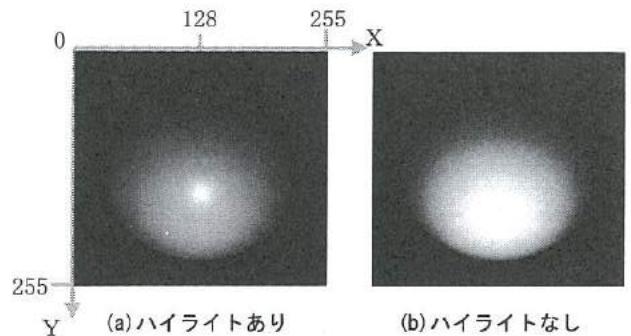


図10 反射モデル( $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 90^\circ$ )

Fig. 10 Two Models of Sphere

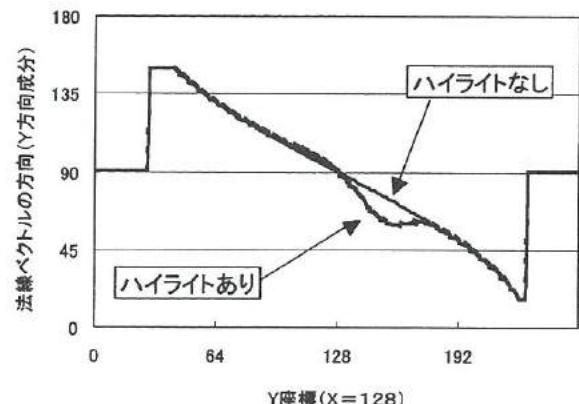
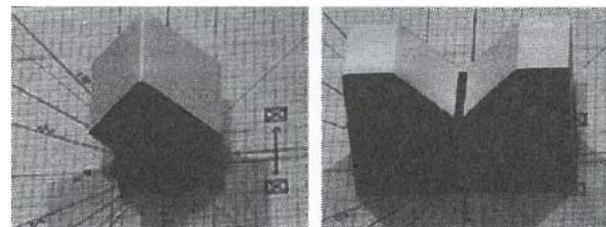


図11 ハイライトの影響

Fig. 11 Effects of High Light



(a) 凸型

(b) V型

図12 ブロック

Fig. 12 Blocks

方に凹形状があることから、これによる二次反射がスカート部の輝度に影響しているものと考えられる。

③光学系の誤差については、光源と物体の距離が有限なため完全な平行光とならず、観測面上の照度が一定にならないことが考えられる。また、カメラレンズの明るさの不均一性や $\gamma$ 補正値などパラメータ誤差、レンズの光軸と観測方向(Z軸)とのずれなども要因として考えられる。

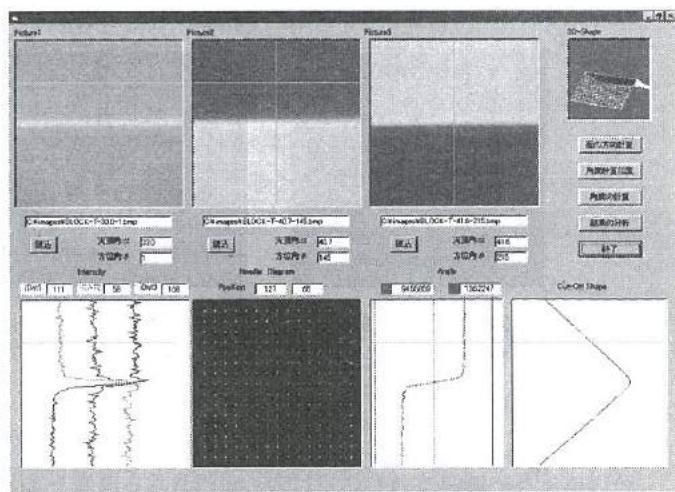


図13 角度の解析例(凸型ブロック)  
Fig. 13 An Example of Analysis (Block Fig.10 (a))

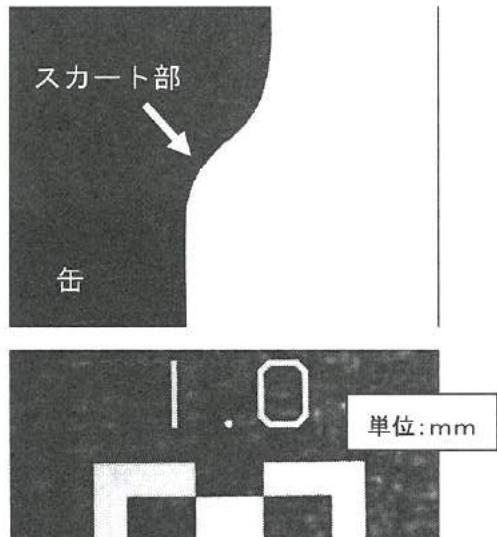


図15 スカート部拡大図  
Fig. 15 Enlarged view of Analysis Area

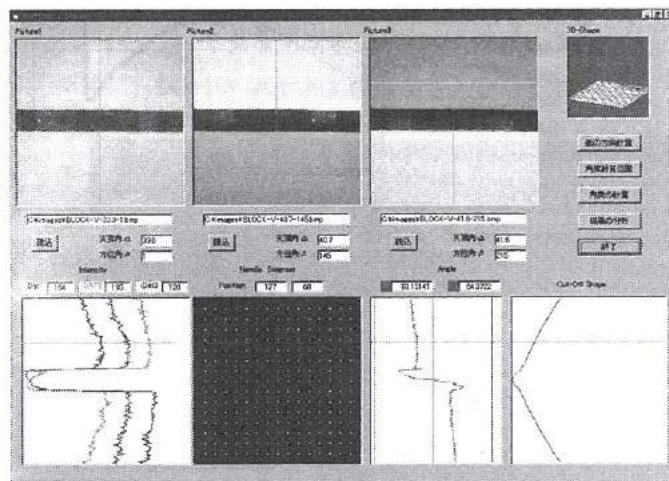


図14 角度の解析例(V型ブロック)  
Fig. 14 An Example of Analysis (Block Fig.10 (b))

誤差要因の中で、①と②については光源条件を最適化することによりある程度の軽減が期待できるため、今後の検討課題である。しかしながら、照度差ステレオ法の誤差要因が解消されたとしても、スカート部は図15に示すように微小な領域で、かつ連続的に法線ベクトルの向きが変化しているため、スカート角度を決める接線を一義的に決定することは困難である。そこで、測定の再現性と信頼性の向上のためには、測定範囲と接線の決め方を規格化する必要がある。

#### 4. 結 言

本研究では、画像処理を用いた三次元立体形状の計測手法について検討を行い、次の成果が得られた。

- ① 照度差ステレオ法は、二次反射の影響を受けない対象物又は測定系において、比較的精度よく表面の傾きが測定できることがわかった。
- ② アルミ飲料容器については、照度差ステレオ法の適用には解決すべき課題が残っているが、単純な形状の工業部品や平面の傾き等の測定には適用可能であることがわかった。
- ③ カメラを用いて3次元画像処理を行うことで、既存の生産ラインの計測装置と組み合わせた複合検査システムへの拡張が可能である。

#### 文 献

- (1) 出口、佐藤:「三次元画像計測」,昭晃堂(1990)
- (2) Woodham R.J.: "Photometric method for determining Surface orientation from multiple images". Optical Engineering. 19.1 pp139-144 (1980)
- (3) 洪海、川嶋稔夫、青木由直:「照度差ステレオ法による三次元物体の形状と位置情報の復元」, 電子情報通信学会論文誌,D,Vol.J69-D,No.3,pp427-433(1986)
- (4) 岩堀祐之、杉江日出登、石井直宏:「天頂角未知の照明における照度差ステレオ法」:電子情報通信学会論文誌,D-II,Vol.J74-D-II,No.3,pp321-329(1991)

## VII. 超小型4サイクルエンジンの開発

Development of a small type four-stroke engine

中西 智英 NAKANISHI Tomohide	杉森 雅一 SUGIMORI Masakazu	清水 孝晃 SIMIZU Takaaki	森本 英樹 MORIMOTO Hideki
佐山 利彦 SAYAMA Toshihiko	藤井 弘之 FUJII Hiroyuki		谷野 克巳 TANINO Katsumi

### Abstract

Recently, four-stroke engine with clean exhaust has been expected to substitute two-stroke engine for globally increasing environmental concerns. We developed a new four-stroke engine with compact and high power. At first, we scaled down a commercial engine and verify the engine performance by changing the bore stroke ratio, the burning timing, and the diameter of the intake port. Reflecting the scaled down engine performance, we designed a new engine with cylinder volume of 20cc, square cylinder, compact burning room, large valve, pressure ratio of 8, and high speed valve timing. Consequently, following results were obtained. (1) There may exist some limits in shortening piston stroke for compactness of the engine. (2) Ignition timing and diameter of intake port are important factors for high power engine. (3) Appropriate over rap value of valves is needed to blow much mixture in the combustion chamber.

### 1. 緒言

草刈機、枝打ち機等に搭載されている汎用エンジンは、作業性向上のための重要な動力として欠かせない役割を担っている。汎用エンジンに要求される性能として、①作業効率、可搬性向上のための小型・軽量、②作業効率向上のための高出力、および、③安全性が挙げられる。そのため、これまで汎用エンジンは、1サイクル2ストロークエンジン（以下、2サイクルエンジンと記す）が主流であった。すなわち、1サイクル4ストロークエンジン（以下、4サイクルエンジンと記す）に比べ機構が簡単かつ安価、また自在傾斜運転が可能であるためである。しかし、環境負荷の低減に対する世界的潮流の中で、2サイクルエンジンは未燃焼ガスが多いという理由から、現在は、燃料消費量が少ない4サイクルエンジンへの移行が進み、開発・商品化に至っている。その中でも小型・軽量化したエンジンの需要が世界的に高まっている。

本研究では、汎用エンジンの小型・軽量化および高出力化による作業効率向上を目的とし、排気量 20cc 以下の汎用エンジンの開発を試みた。

### 2. エンジンについて

エンジンは、「熱エネルギーを運動エネルギーへ変換する装置」と定義できる。実用化されている汎用エンジンには、2サイクルエンジンと4サイクルエンジンがある。いずれの形式のエンジンにおいても、図1に示すように4つの行程が存在する。吸入行程では、吸気バルブを開き混合気を取り入れる。圧縮行程にすると、混合気の圧縮を行い熱エネルギーのポテンシャルを高める。膨張行程では、圧縮させた混合気に点火を行い、混合気を燃焼させてエンジン下部にあるクラシク機構を用いてエンジンの出力軸にエネルギーを変換する。最後に、排気行程では、燃焼後の排気ガスを外部に放出する。以上がエンジンの4つの行程である。

図2は、エンジンの理論サイクルを表したPV線図を示す。このサイクルはオットーサイクルと呼ばれ、一般的なガソリンエンジンに用いられている。熱量の供給と排出は一定体積下で行われる。また、圧縮と膨張は断熱的に行われる。曲線で囲まれた部分の面積は、熱の出入りにより理想気体が行った仕事に対応している。しかし、実際のエンジンは、燃焼速度の違いによって図中の(a)(b)のような軌跡をたどり、理想的な燃焼にはならない。

弁駆動方式の種類はカムの位置により分類され、大別してOHC(overhead camshaft)とOHV(overhead valve)がある。前者は、カムがシリンダ上部にある方式であり、後者は、下部にある方式である。OHCはOHVに比べ、カムシャフトとバルブの中間にブッシュロッド等の慣性質量がなく高速回転時での安定したバルブの開閉が可能である。また、OHCをさらに、吸気・排気を独立したカムシャフトで構成しているのがDOHCであり、より安定したバルブ開閉が可能なため、高速性能が向上する<sup>(1)</sup>。

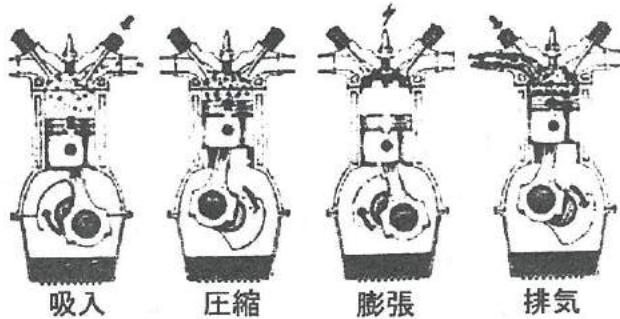


図1 エンジンの行程<sup>(2)</sup>

Fig. 1. Stroke of engine

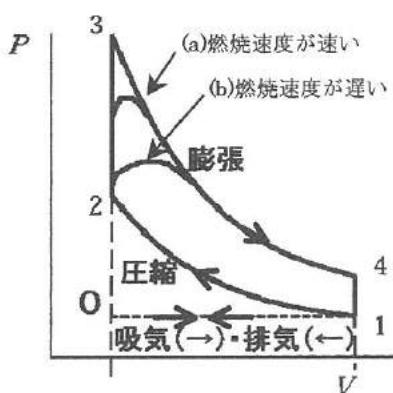


図2 理論的なエンジンのPV線図

Fig. 2. Pressure and volume diagram of ideal engine

### 3. 既存汎用エンジンの小型化

#### <3. 1> 目的

本田技研工業(株)製のGX-31を用いて、小型化した時のエンジン性能の変化を調べる。新規エンジン設計の基本データとして、設定変更・改良等に結果を反映することを目的とする。

#### <3. 2> 既存エンジン

まず、GX-31を用いて汎用エンジンの検証を行った。表1

は、その諸元を示す。以下に検証結果を紹介する。

表1 GX31 諸元

Table 1. Specifications of GX31

形式	GX31
サイクル	4サイクル
弁駆動	OHV
排気量(cc)	31.0
最大トルク(Nm/rpm)	1.67/4500
最大出力(kW/rpm)	14.6/7000
乾燥重量(kg)	3.4

#### (1) 出力軸径

出力軸径は $\phi 15\text{mm}$ であった。出力軸は、ピストンの往復運動を回転運動に変換しているため、トルクと曲げ、ねじり振動等の多くの力が作用している。この出力軸材料の降伏応力をS45C焼入れ焼戻し鋼に相当する490MPaと仮定して、既存の軸径が耐えうる最大トルクの計算を行った。その結果、最大トルクは20Nmとなり、諸元値の1.67Nmに対し12倍であった。この時に働き得る曲げモーメントをトルクに換算すると、最大トルクの結果から19.9Nmとなり、伝達トルクに比べ大きな値となる。

#### (2) ピストン

ピストンの形状は、スリッパ・スカート・ピストンと呼ばれる一般的な形状である。形状測定を行った結果、頭頂部は $\phi 38.68\text{mm}$ の真円形状で真円度 $0.9\mu\text{m}$ であり、スカート底部径 $\phi 38.98\text{mm}$ にかけてのテーパー形状であった。

また、EDSによる定性分析を行いピストンの材質および表面処理を調べた。材質は耐摩耗性、高温強度に優れたSi 19%のAl-Si系合金であり、表面処理は硬質で耐摩耗性に優れたNi 98.79%、P 1.21%の無電解Ni-Pめっきであった。

#### (3) 動弁系

弁駆動方式は、OHV方式であり、カムプロファイルをブッシュロッド、ロッカーアームを介して弁開閉を行う。バルブ系は、バネ定数4.05N/m、バルブ質量5.6gであることから固有振動数 $269\pi\text{rad/s}$ となる。GX31の最高回転数を測定した結果、9000rpmであり、その時の振動数は $150\pi\text{rad/s}$ であった。この振動数は、固有振動数の56%に相当し、最高回転時においても共振しない設定となっている。

また、バルブ開閉タイミングは、吸気バルブ、排気バルブのオーバーラップがなく、吸気バルブの閉じ位置がピストンの下死点通過後 $35^\circ$ の地点であり、排気バルブの開き位置はピストンの下死点通過前 $35^\circ$ の地点であった。また、バルブリフト量は、吸気、排気ともに $2.5\text{mm}$ であった。

### <3. 3> 設計仕様

検証に用いたエンジンを基に、以下の設計変更を行ったエンジンを製作した。

- ① 排気量の小型化
- ② 点火時期の変更
- ③ 吸入ポート径の変更

表2は、エンジンの仕様を示す。また、図3は仕様の詳細を示す。まず、ショートストローク化による排気量の小型化を行うために、排気量 27cc および 24cc エンジンの設計・製作を行った。ボア径およびピストンの上死点を一定にし、ストロークのみを短縮して排気量を変化させることとした。その結果、燃焼室容積は一定であるので、圧縮比が既存の 8 に対し 7、6 と低下する。次に、排気量に対し、燃焼室容積が大きい点を考慮して、点火時期 10° 早めで燃焼圧の高伝達化を行った。最後に吸入ポート径を小さくした。排気量すなわち吸入量が小さくなるため、吸気管径が同じであれば流速が低下する。そのため、吸気管径を  $\phi 5.5\text{mm}$  にして流速を速めた。

表2 小型化したエンジンの仕様

Table 2. Specifications of scaled down engines

TYPE	排気量 (cc)	ストローク (mm)	圧縮 比	点火時期 変更	ポート径 (mm)
A	27	23	7	無	8
B	27	23	7	有	8
C	27	23	7	有	5.5
D	24	20	6	無	8
E	24	20	6	有	8

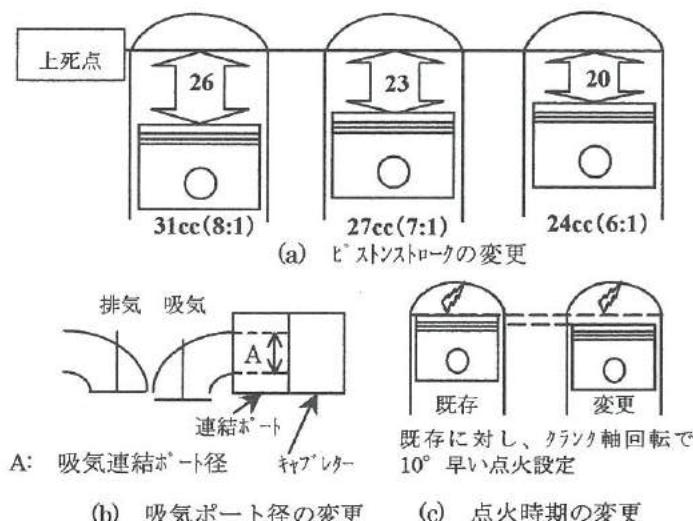


図3 既存エンジン GX31の設定変更

Fig.3. Changed points of GX31

### <3. 4> 特性評価

#### (1) 評価方法

エンジンの性能評価のため、回転数およびトルクの測定を行った。トルク測定装置は、エンジンとブレーキ部の間にひずみ計を連結させ、一定回転数におけるブレーキ時の発生ひずみをトルクに置換する方式である。

#### (2) 測定結果

図4は、回転数測定の結果を示す。まず、ストローク変更のみ行った TYPE A(27cc)、TYPE D(24cc)においては、既存エンジンの回転数には至らなかった。TYPE Aでは各アクセル開度に対し既存エンジンの 50% の回転数であり、TYPE D はアイドリング時に 2000rpm であったが、アクセルを開くと停止した。次に、ストローク・点火タイミング変更を行った TYPE B(27cc)では、アイドリング時からアクセル開度 25%までは、TYPE A より 70% 増加の回転数であったが以降は停止した。同仕様の TYPE E(24cc)でも、アイドリング時に 20% 増加の回転数であったが、アクセルを開くと停止した。さらに、ストローク・点火タイミング・吸気ポート径を変更した TYPE C(27cc)では、アクセル開度 30%までは既存エンジン同等の回転数で推移したが、以降停止してしまう結果となった。

図5は、トルク測定の結果を示す。24cc エンジンがアイドリング時しか回転しなかったので、既存エンジンおよびアクセルを 100% 開くことができた TYPE A(27cc)のみについて測定結果を示す。既存エンジンと TYPE A の回転数に対するトルクはほぼ同等値であり、回転数の増加に伴いトルク値も同様に増加した。

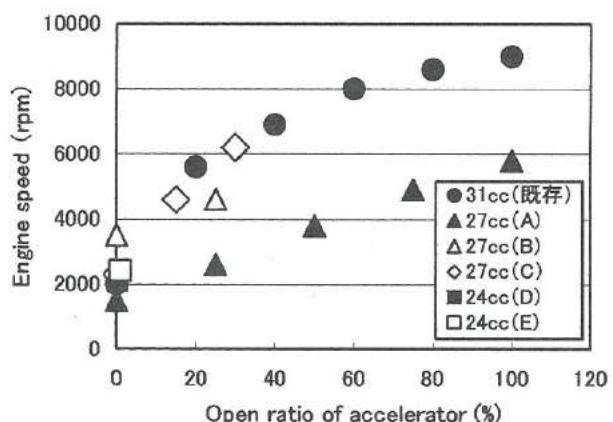


図4 回転数測定結果

Fig.4. Engine speed change by open ration of accelerator

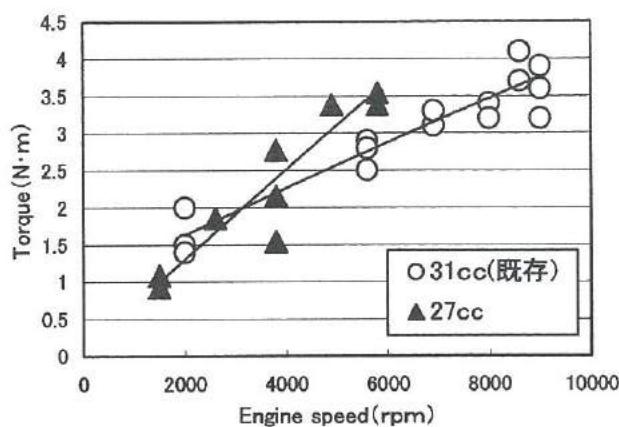


図5 トルク測定結果

Fig.5. Torque change by engine speed

### (3) 結果の考察

#### (a) 回転数の低下

燃焼室容積を一定としたため、排気量低下により、圧縮比が既存の 8 から 7, 6 に減少した。これより、ピストンに附加される燃焼圧が低下し、回転数低下につながったと考えられる。したがって、燃焼圧が最大時に点火時期を設定することが必要となる。このことは、点火時期を既存の設定からクラシク軸回転で  $10^\circ$  早めた設定の TYPE B エンジンにおいて、点火時期変更なしの TYPE A より約 15% の回転数増加が確認されたことからもわかる。

#### (b) アクセル開度を大きくするとエンジンが停止する

排気量を下げた設定だが、吸入ポート径が同径であるために流速が低下し、キャブレター内の圧力差が小さくなり、結果として、混合気中のガソリン量が不足したと考えられる。このことは、吸入ポート径を  $\phi 5.5\text{mm}$  に縮小して流速を高めた TYPE C エンジンにおいて、吸入ポート径が  $\phi 8\text{mm}$  の TYPE B エンジンよりも約 20% の回転数増加したことからも確認できる。

#### (c) トルク測定値

測定の結果、31cc と 27cc ではほぼ同等の値となった。この原因として、今回トルク測定用いた装置はブレーキ部でエンジンを強制的に停止させるものであることが挙げられる。これはピストンを停止させるための慣性力を測定しており、出力を正確に測定していないと考えられる。エンジンの性能を比較するためには、発生出力を正確に測定できる装置の検討が必要である。

## 4. 新規エンジンの設計・製作

### <4. 1> 設計方針

表3は、新規エンジンの設計方針を示す。

これらを実現するための一般的な方策として次のことが挙げられる。

表3 新規エンジンの設計

Table3. Design of new engine

目標	方策
小型	小さい排気量
高出力	高い吸込効率 <ul style="list-style-type: none"> <li>大きいバルブ面積</li> <li>大きいバルブリフト量</li> <li>混合気が流れやすい吸気管</li> </ul>
	速い燃焼速度 <ul style="list-style-type: none"> <li>小さく、均整のとれた形をなす燃焼室</li> <li>高い圧縮比</li> <li>混合気の攪拌</li> </ul>

大きいバルブ面積の確保するためには、ボア径を大きくする必要がある。大きいバルブリフト量の確保には、カムのリフト量を增幅するためにロッカーアームを用いる。混合気が流れやすい吸気管とするためには、バルブ角度を大きくさせ直線に近づけて、吸気管を太くしなければならない。小さく、均整のとれた形をなす燃焼室を実現するには、ボアを拡げすぎず、球形とすることが必要とされる。混合気を攪拌するために、吸気管径を小さくして流速を高める。

しかし、上述した方策には矛盾している要素が重なり合っている部分があるので、次に示すように 3. において得られた結果を反映させて仕様を決定した。

- ① ストロークを縮めすぎてはいけない。
- ② 圧縮比は下げるべきではない。
- ③ 燃焼室はコンパクトにする。

以上より、今回設計製作したエンジンの仕様を表4に示す。また、弁駆動方式の採用は、DOHC にすることにより、吸排気のバルブタイミングを独立して調整を行えるようにした。

表4 エンジンの仕様

Table 4. Specifications of new engine

排気量	19.2cc
ボア径	29mm
ストローク	29mm
弁駆動方式	DOHC

## <4. 2> 設計

### (1) ピストン

シリンダ内を上下移動するピストンは、上面では爆発を行っている混合気と接触しているため、上下面で大きな温度差が生ずる。そこで、ピストンの設計は、上面での熱膨張を考慮して行う必要がある。

ピストン上面の温度を測定することが困難であることから、既存のエンジンの寸法から燃焼温度を見積もることにする。すなわち、ヘッド径が燃焼による熱でスカート径と同じになると仮定し、温度を算出する。ピストン上面を無数のリングで構成すると仮定し、外側のリングに対して熱膨張の式を用いると次式が得られる。

$$\Delta T = (D_s - D_H) / (D_H \alpha) \quad (1)$$

ここで、 $D_s$  はピストンスカート径、 $D_H$  はヘッド径、 $\Delta T$  は温度変化および、 $\alpha$  は熱膨張率を示す。既存のエンジンの寸法とアルミの熱膨張率の値： $D_s = 38.95\text{mm}$ 、 $D_H = 38.65\text{mm}$ 、 $\alpha = 2.3 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$  を代入して計算を行うと、結果は  $\Delta T = 400^\circ\text{C}$  となる。次にスカート部径に  $50\mu\text{m}$  の隙間を設け、 $D_s = 28.95\text{mm}$  として再び式(1)を用いてヘッド径を導いたところ、 $D_H = 28.68\text{mm}$  の値が得られた。

使用する材料は過共晶 Al-Si 合金である。この材料は Si を 17% 含んでおり、硬い Si 粒子が晶出するため<sup>(3)</sup>、耐磨耗性に優れる。また、シリンダも同じ材質とした。

### (2) クランク軸

クランク軸に作用する力は、ピストンの往復運動で受ける力とトルクを伝える力になる。2. で検証した結果より、往復運動で軸に発生する曲げ応力が高いことが分かったが、その応力を見積もることは容易でない。今回設計したコンロッドとピストン等の重量が大きく変化しないことから、既存エンジンと同じ軸径とした。材質は、S50C を使用した。

### (3) 燃焼室形状

4. 1 節で述べたことから、燃焼室形状は高い吸入効率が求められる。そこで、バルブ径はボア径が  $\phi 33\text{mm}$  のエンジンに用いられているものを流用し、バルブ角度は  $38^\circ$  度に設定した。速い燃焼速度を得るために、形状は半球形で圧縮比を 8 とした。

### (4) ロッカーアーム

吸排気のバルブの開閉は、バルブのリフト量を大きくし、バルブクリアランスの調整機構を組み込むため、ロッカーア

ームを介して行うこととした。ロッカーアームには、設計通りの正確な運動が要求されるため、剛性を高くする必要がある。また高速運動を行う部品であるため、軽量でなければならない。剛性と重量の兼ね合いをとるために既存エンジンのロッカーアームの強度比較を行った。その結果、既存エンジンでは最大応力が  $51.6\text{MPa}$ 、最大変位は  $0.026\text{mm}$  となった。他方、本エンジンのロッカーアームの計算結果は、最大応力  $32.9\text{MPa}$  で、最大変位  $0.007\text{mm}$  となった。これらの結果を比較すると本エンジンのロッカーアームは剛性的に、十分耐えうると考えられる。

使用する材質には、韌性、耐磨耗性が求められるため、SCM420H を使用し、浸炭焼入れ焼戻しを施した。また、カムには、自己潤滑性を有するダクタイル鉄を用いた。

### (5) バルブスプリングの設計

バルブを正確に開閉させるためには、ばねの共振現象やバルブのバウンス現象があつてはならない。そのため、実際の動作による振動数  $\omega$  とばねの固有振動数  $\omega_n$  との比ができるだけ小さくする必要がある。今回使用したバルブスプリングのバネ定数は  $4.048\text{N/m}$  であり、エンジンの回転数を最大で  $9000\text{rpm}$  と想定すると、 $\omega/\omega_n = 0.56$  となった。

### (6) バルブ

図 6. はバルブリフト量とクランク軸との関係を示す。混合気を吸いしやすくするため、リフト量は既存エンジンより大きい  $2.7\text{mm}$  に設定した。

吸気及び排気の慣性効果を利用して、高出力化を図った。吸気では、ピストンが吸気行程を終えても、吸気の流れにより吸入することが可能である。すなわち、バルブを吸気行程終了後もしばらく開けば、大気圧以上での吸入が可能となる。一方、排気は、排気行程終了時には、まだ燃焼室容量分の排気が残っているため、排気終了後も排気バルブを開け、排気の流れにより排出を促す。また、吸気の混合気により排気を送り出すことも期待できる。そこで、ピストンが下死点通過後、 $60^\circ$  まで吸気バルブを開き、吸気と排気のオーバーラップを設けた。

### (7) 潤滑

潤滑は、潤滑油により行う。潤滑油をエンジン各部に運ぶ方法として、ピストンの往復運動によって発生するクランクケース内の圧力変動を利用する。

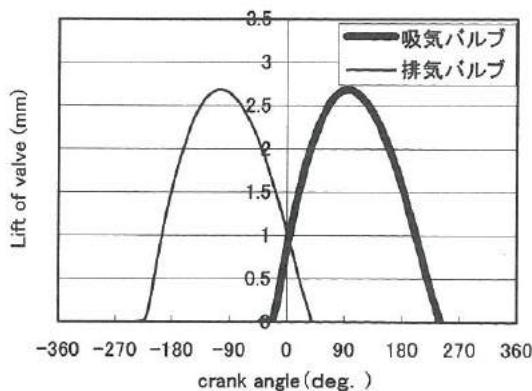


図6 クランク角度とリフト量の関係

Fig.6. Relation between crank angle and lift value.

## 5. エンジンの運転及び検証

図7は、試作したエンジンの外観図を示す。幅260mm、高さ250mm、奥行き190mm、重量4.8kgとなった。

エンジンの始動を試みたが、残念ながらエンジンは始動しなかった。以下にその原因を検証した。

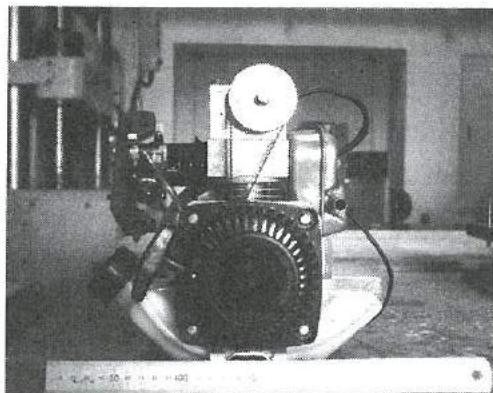


図7 試作エンジンの概観図

Fig.7 Overview of the developed engine.

まず、プラグの点火不良が考えられる。スタータを回した後、プラグを抜きプラグの状態を確認したがプラグが潤滑油で濡れていた。このためエンジン内で点火しなかったものと考えられる。なお、プラグをエンジン外で点火させた場合には点火することを確認した。プラグが潤滑油で濡れた原因は、シリンダから燃焼室へ潤滑油が流入したからであり、ピストンリング不良とクランクケース内の圧力変動が大きすぎたためと考えられる。ピストンリングはピストン径からポンプ用のものを使用し、オイルリングは使用せずプレッシャ

ーリングで代用したが、この結果潤滑油をシールできなかつたものと考えられる。今後ピストン径に適合するオイルリングを調達する必要がある。また、クランクケース内の圧力変化は、圧縮時のクランク室容積が $75997.8\text{mm}^3$ 、膨張時の容積が $56842.7\text{mm}^3$ であり圧縮時に比べ膨張時の気圧が1.8倍となる。この圧力差が大きいようであるので圧力調整用のバルブを設け減圧する必要があると考える。

次に、高出力化設計も原因として考えられる。潤滑油を抜きプラグの濡れを防いだ状態においてもエンジンは始動しなかった。本エンジンは高出力を狙い、混合気の慣性効果を期待し、吸気バルブは下死点後 $60^\circ$ に閉じ、排気ガス排出のため吸気バルブと排気バルブのオーバーラップを $40^\circ$ 設けているが、これが吸気の吹き返しや吹き抜けにつながり始動時に十分な混合気がシリンダ内に吸入されなかつたと考えられる。また、高出力化のためバルブリフトも大きく設定しているが、その結果、バルブからシリンダへの混合気の流速が遅くなり混合気が十分攪拌されず着火性が悪くなっていることも原因と考えられる。今後、最大出力を抑える結果になるが、(1)吸気バルブを下死点通過後早めに閉じる、(2)吸気、排気のオーバーラップ量を減らす、(3)バルブリフト量を小さくするといった対策を試みエンジンを始動させたい。

## 6. 結 言

本研究では、汎用エンジンの更なる小型・軽量および高出力化を目的として、排気量20cc以下の汎用エンジンの開発を試みた。その結果を以下に示す。

- (1)高出力化を行うためには、ピストンのショートストローク化によるエンジンの小型化には限界がある。
- (2)高出力化のための設定として、点火時期、吸気ポート径の設定が重要な因子である。
- (3)十分な混合気を吸入するためには、適切なバルブのオーバーラップが必要である。

## 文 献

- 1)全国自動車整備専門学校協会、ガソリン・エンジン構造、(1999), 山海堂。
- 2)出射忠明、自動車メカニズム図鑑、(1985), グランプリ出版。
- 3)軽金属学会編、アルミニウムの組織と性質、(1991), 軽金属学会。

## VIII. 滑雪機構の改善に関する研究

Study on Improvement of Snow-Sliding Mechanisms

河井 牧夫  
KAWAI Makio

野田 耕司  
NODA Koushi

氷見 清和  
HIMI Kiyokazu

高林 外広  
TAKABAYASHI Sotohiro

### Abstract

Falling snow blocks from road signboards and beams of bridge cause some accidents in snowy region. The useful properties of TiO<sub>2</sub> are super-hydrophilicity and self-cleaning. The snow-sliding performance of a board with a sputtered TiO<sub>2</sub> film was better than that of fluorine coated board for the wet snow (temperature: over -3 °C). The snow-sliding board with a sputtered TiO<sub>2</sub> film works well for an accumulation of snow in Hokuriku region.

In previous work, we developed the snow-sliding board with a TiO<sub>2</sub> film on aluminum boards to prevent growing the snow lump. In this work, we deposited TiO<sub>2</sub> films on a few kinds of painted aluminum boards and a stainless steel board for the improvement of weather resistance, bending workability and productivity. A stainless steel board was superior on outward appearance and adhesive property. Furthermore, we attempted to solve snow-sliding mechanism on a sputtered TiO<sub>2</sub> film by using of imitative snow.

### 1. 緒 言

北陸地域に代表される積雪寒冷地において、道路標識板や橋梁アーチ部などの屋外構造物に着雪して成長した雪氷塊の落下が、走行車両や歩行者に甚大な被害を与えていた。富山県内においても毎年数件の事故報告があり、早急な対策が求められている。これまでにも人力に頼る方法(図1)、ビニルシートや撥水処理を施したステンレスもしくはアルミ製の滑雪板を取り付ける方法等の対策が採られてきた。しかし、これらの方には、労力やコスト、耐久性及び長期滑雪効果の持続性において問題があった。

雪はその状態から、密度が小さく軽い乾き雪と密度が大きく重い湿り雪に大別される。これまでに滑雪板の表面性状として、外気温が-3 °C以下で見られる乾き雪に対しては撥水性の表面が、外気温が-3 °C以上で見られる湿り雪に対しては親水性の表面が良いことが報告されている<sup>1)</sup>。したがって、比較的気温の高い北陸地域では、表面が親水性の滑雪板が望ましい。また、滑雪板の設置される環境では、自動車の排気ガスや粉塵、鳥糞等により表面が汚染され、長期暴露において初期の滑雪性能が維持できない。このため、滑雪板の設置には、汚れの付きにくい表面処理が必要となる。

これらのことから、光触媒酸化チタンの超親水性と防汚効果を利用して、北陸地域に適した滑雪板の開発

を行った<sup>2)</sup>。その結果、陽極酸化処理を施したアルミニウム板に酸化チタンをスパッタリングした滑雪板（以下、酸化チタンをスパッタリングした滑雪板をスパッタ板とする）を開発し、屋外設置した滑雪板をモニタリングすることにより、その滑雪効果は撥水性の表面と比較して著しく良好であることを確認した。また、スパッタリングによる酸化チタン膜は高い光触媒活性を示し、その防汚性から長期間の滑雪性能の維持を期待できることや、滑雪性能において表面粗さが重要な因子であり、スパッタリングによる酸化チタン膜が非常に平滑で滑雪性が高いことが判った。しかし、基板に陽極酸化処理のみを施したアルミニウム板（以下、アル

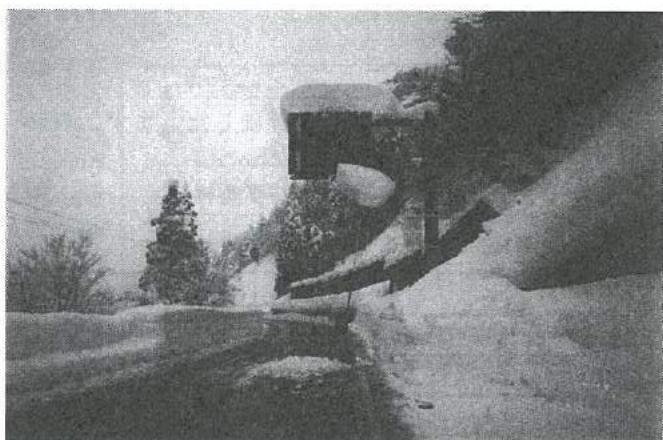


図 1 標識板上に成長した雪氷塊  
Fig.1 Snow block on signboard

マイトイ板とする)を用いたことにより、生産性を上げるためスパッタリングの投入電力を上げた場合には皮膜割れを生じることや、また長期使用において3μm程度の薄い陽極酸化皮膜のみでは耐食性に不安があるという問題があった。

そこで、本研究では生産性や耐食性を考慮し、アルミの塗装板やステンレス板など様々な基板上に条件を変えて酸化チタン膜を作製した。また、評価条件を統一させるため、模擬雪を用いて滑雪性能の評価を行った。

## 2. 実験方法

### <2. 1> 試験板の作製

試験板の基材には、アルマイトイ板(アルミニウム材:A1100, t=2mm)、アルマイトイ板にアクリル塗装及びフッ素塗装を施した塗装板、ステンレス板(SUS304)を用いた。超親水性酸化チタン膜の作製には、基板加熱することなく光触媒活性の高いアナザーゼ型結晶膜を作製できる反応性スパッタリング法<sup>3)</sup>を用いた。装置には、インライン型ダブルカソードMFスパッタリング装置(ULVAC)を使用した。基板のアルコールによる脱脂後、真空中で表1に示すスパッタリング条件にて成膜した。作製した膜はSiO<sub>2</sub>(下層)/TiO<sub>2</sub>(中層)/SiO<sub>2</sub>(上層)の三層構造とし、下層のSiO<sub>2</sub>は、基材との密着性を向上させるため及びバリア層としての役割を保持させるため、また上層のSiO<sub>2</sub>は酸化チタンの超親水性の暗所維持特性を向上させるために成膜した。

### <2. 2> 評価方法

#### (1) 基礎物性

作製した試験板の基礎物性を評価した。まず、表面

表1 スパッタリング条件  
Table1 Sputtering conditions

	SiO <sub>2</sub> (下層)	TiO <sub>2</sub> (中層)	SiO <sub>2</sub> (上層)
Arガス流量	60sccm	125sccm	60sccm
O <sub>2</sub> ガス流量	40sccm	275sccm	40sccm
投入電力	5kW	7.5~20kW	5kW
搬送速度	40nm/min	20~40nm/min	105nm/min
成膜速度	50nm/pass	20~80nm/pass	20nm/pass
膜厚	50nm	120nm	20nm

性状を金属顕微鏡(オリンパス光学工業、AX70)及び表面粗さ計(Taylor Hobson; Form Talysurf series)により評価した。親水性の評価は、紫外線を充分に照射し初期化した後、接触角計(協和界面科学、CA-D)により行った。有機物分解活性の評価は、試料をメチレンブルー水溶液に浸漬・乾燥後、光触媒チェッカー(真空理工、PCC-1)により吸光度変化を測定した。作製された酸化チタン膜の結晶構造は、X線回折装置(理学電機)により評価した。膜と基板との密着性は碁盤目試験(JIS K 5400 8.5.2)により評価した。耐候性については、サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機(スガ試験機、S80HB、試験はJIS K 5400 9.8.1に準拠)により評価した。曲げ加工性は、耐屈曲性試験(JIS K 5400 8.1に準拠)を実施した。

#### (2) 模擬雪による転落角測定

雪中の含水率と滑雪挙動との関係を調べるために、模擬雪を用いてその転落角を接触角計にて測定した。模擬雪には水と中空ガラスピース(1.1g/cm<sup>3</sup>、2~20μm)を混合したものを使用した。加古ら<sup>4)</sup>によると、ガラスピースと水の複合体の粘性は、ガラスピースの比率50%程度を境に急激に変化することが報告されている。そこでガラスピースの比率を40、50、60wt%と変化させることにより、ガラスピースの比率が高く(60wt%)粘性の高い場合を乾き雪、ガラスピースの比率が低く(40wt%)粘性の低い場合を湿り雪と想定した。また、表面粗さRa(算術平均粗さ)が滑雪性能に及ぼす影響について調べるため、粒度の異なる研磨材により表面を荒らしたポリカーボネート上に酸化チタンを成膜して、模擬雪の転落角を測定した。

#### (3) 屋外滑雪試験

天然雪による屋外滑雪試験を、山間部(富山県利賀村:標高650m)及び平野部(富山県高岡市)において実施した。降雪による着雪及び滑雪状況をCCDカメラにてモニタリングし、詳細に解析した。試験板には、800×800mmのスパッタ板(基板:アルマイトイ板)、フッ素塗装を施したアルミ板(以下、フッ素板とする)及びアルマイトイ板を用いた。平野部においては、上記の3種類の板に加え、ステンレス基材のスパッタ板及び未処理のステンレス板を用いた。試験板の傾斜角度は30度とした。また、温度記録計により外気温度を記録し、降雪時の気温について調べた。

### 3. 実験結果及び考察

#### <3. 1> 基礎物性測定結果

図2に、投入電力20kWにおいて作製した試料表面の金属顕微鏡写真を示す。アルマイト板では7.5kW以上、フッ素塗装板では10kW以上、アクリル塗装板では12.5kW以上の投入電力でスパッタリングを行った場合に、表面にクラックが発生した。これは、投入電力を上げることによって基板温度が上昇し、基板のアルマイト板とフッ素系及びアクリル系塗装膜の熱膨張率の差が大きいためにクラックが生じたと推察される。これに対し、ステンレス板は投入電力を20kWとした場合でもクラックは見られず表面は良好な状態であった。表2に、基盤目試験の測定結果を示す。アルマイト板及びステンレス板では、100/100と密着性は良好であった。一方、フッ素塗装板では、良い場合と悪い

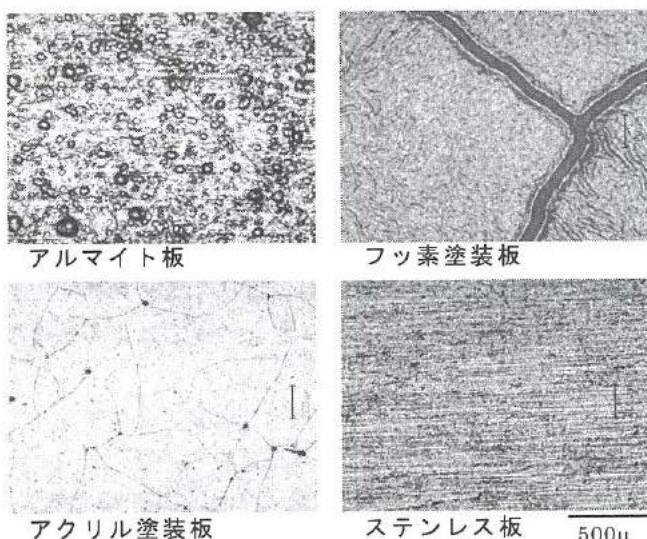


図2 試料表面の金属顕微鏡写真

Fig.2 Optical micrographs of sputtered

表2 基盤目試験結果

Table2 Result of cross-cut test

	投入電力				
	7.5kW	10kW	12.5kW	15kW	20kW
ステンレス	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100
アルマイト	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100
アクリル	0/100	0/100	50/100	0/100	95/100
フッ素	0/100	100/100	100/100	0/100	100/100

図3に、各試料の表面粗さ測定結果を示す。表面粗さRaは、最大でもフッ素塗装板の0.5μmと小さく、場合が混在し、アクリル塗装板では、全ての条件で不良であった。

スパッタリング時の投入電力の違いによる差はなかった。フッ素塗装板においてわずかに変動があるが、測定領域にクラックが含まれていたために生じたと推察される。

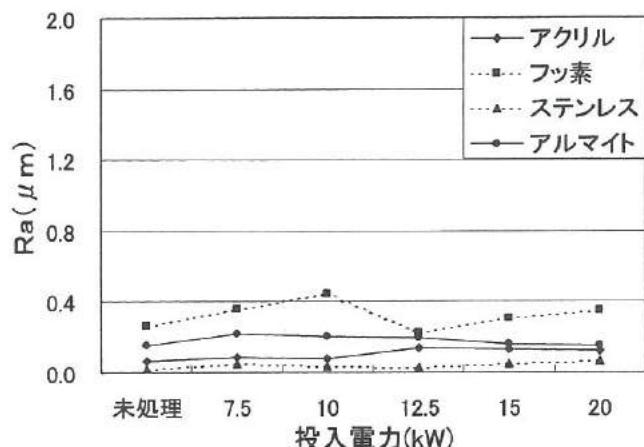


図3 表面粗さ測定結果

Fig.3 Surface roughness dependence of input

図4に、各試料との水の接触角測定結果を示す。これにより、全ての試料において、成膜のされていない場合では60度以上であった接触角が、酸化チタンを成膜することにより8度以下になり、投入電力の違いに関わらず親水性を示すことがわかった。

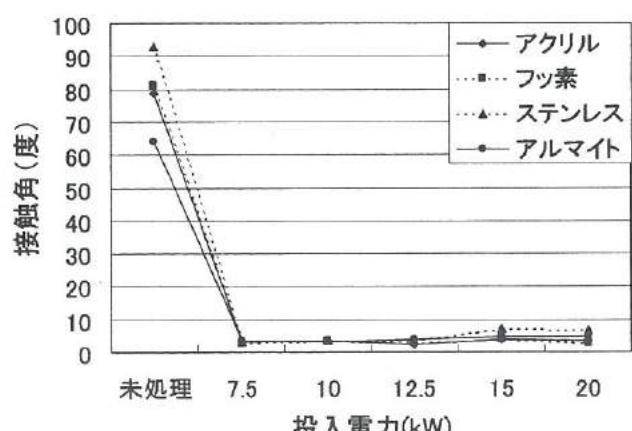


図4 水の接触角測定結果

Fig.4 Water-contact angle dependence of input power

図5に、投入電力とメチレンブルー分解特性の関係を示す。全ての試料において、紫外線の照射によりメチレンブルーが分解され、時間の経過とともに吸光度が減少している。このことから、成膜された酸化チタンには分解特性があることがわかる。投入電力が10kWで最も良い分解特性を示し、その後投入電力が上昇するにつれ分解特性は、低下している。図6に、ステンレス板のX線回折の結果を示す。その結果、投入電力20kW時に、光触媒性能の低いルチル型の酸化チタン生成されていることがわかった。また、投入電力を大きくすることにより、酸化チタン膜が緻密な状態になり、メチレンブルーと接触する表面積が減少するため、分解特性が低下したと推察される。

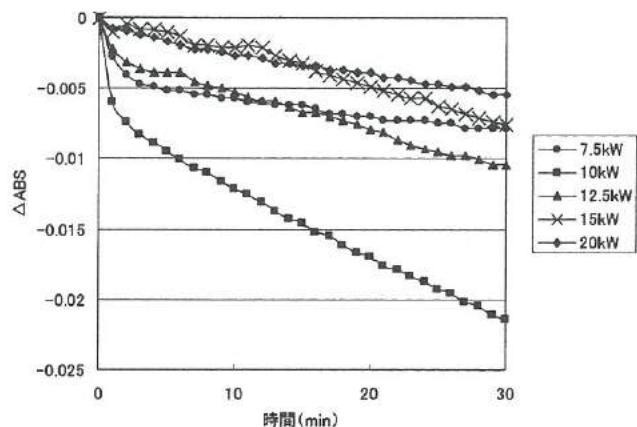


図5 メチレンブルー分解特性

Fig.5 Decomposition of Methylene Blue film

曲げ加工性は、酸化チタンの密着性が良好であったステンレス板を用いて、心棒の直径を10mm及び2mmとして行った。その結果、全ての投入電力の試料で膜の剥離は無かった。また、サンシャインウェザーテスト1000時間の結果では、投入電力が15kW以下の試料には表面の変色が生じ、テープ剥離試験も不良であった。これに対し、20kWの試料ではサンシャインウェザーテストによる異常も無く、テープ剥離試験も良好であった。

### <3. 2> 模擬雪を用いた転落角測定結果

40wt%ガラスビーズ溶液を乾き雪に想定される模擬雪として、60wt%の溶液を湿り雪に想定される模擬雪として測定を行った。図7に、ステンレス板の転落角測定の結果を示す。未処理品の場合では、80度以上

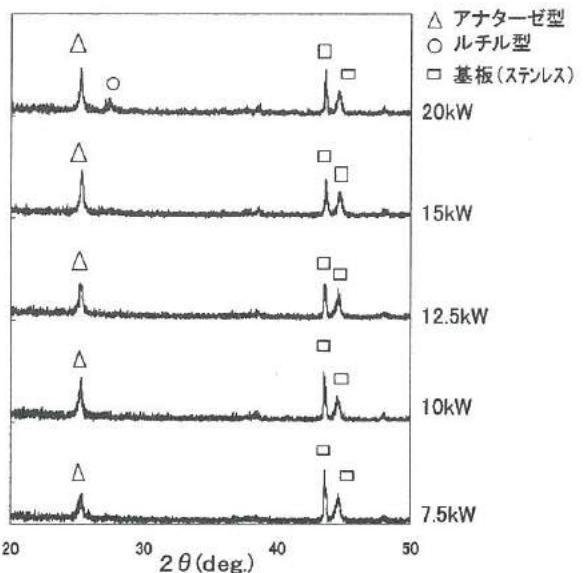


図6 成膜したステンレス板のX線回折結果

Fig.6 X-ray diffraction patterns of  $\text{TiO}_2$  film on stainless substrates

の高い転落角であった。しかし、基板上に酸化チタンを成膜することにより、転落角は20度以下と大幅に減少した。乾き雪に想定される模擬雪と比較して、湿り雪に想定される模擬雪の方が転落角は小さかった。このことから、酸化チタン表面は湿り雪に効果的であることがわかる。また、投入電力の違いによる差はなかった。

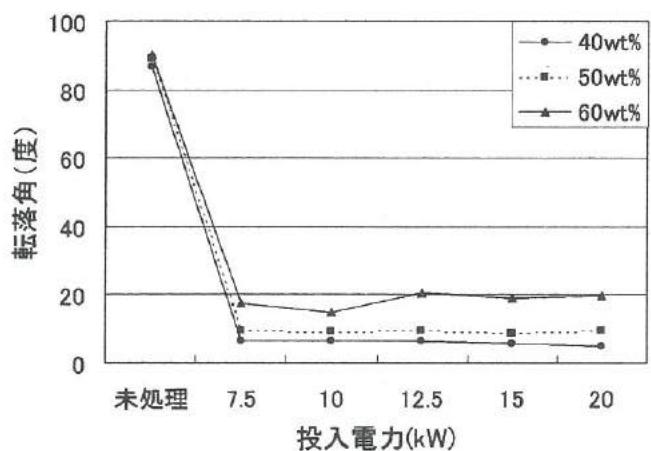


図7 模擬雪を用いた転落角測定結果

Fig.7 Sliding angle of imitative snow dependence of input power

図8に、ポリカーボネート板の表面粗さと湿り雪に想定される模擬雪の転落角の関係を示す。未処理品に対してスパッタ品の転落角は、大幅に減少している。また、表面粗さが大きいほど転落角も大きくなるが、スパッタ品では表面粗さ Ra が  $2\mu\text{m}$  の場合でも 10 度以下と小さい転落角であった。このことからも、酸化チタン表面は滑雪に効果的であることがわかる。

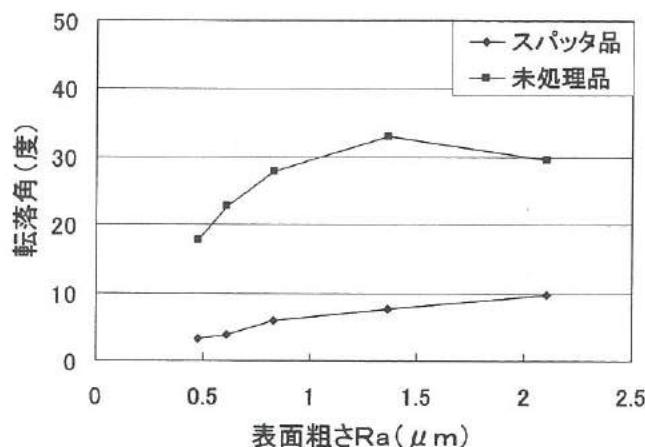


図8 表面粗さと模擬雪(40wt%)の転落角測定結果  
Fig.8 Sliding angle dependence of surface roughness

### <3. 3>屋外滑雪試験結果

図9に、屋外滑雪試験状況を示す。図10に滑雪板の種類と滑雪開始順位(順位1～3)との関係を示す。(i)は降雪時の気温が $-3^{\circ}\text{C}$ 以下の乾き雪、(ii)は $-3^{\circ}\text{C}$ 以上の湿り雪として区分した。図10(a)1年目の観測結果と図10(b)2年目の観測結果を比較すると、1年目の観測において、 $-3^{\circ}\text{C}$ 以下の場合には最も良い結果を示していたフッ素板が、2年目の観測では悪い結果であった。これはフッ素板の表面が、汚れの付着により、乾き雪の場合に有効とされる撥水性の性能を長期に渡って維持出来なかったことを示している。一方、スパッタ板およびアルマイ特板は、一年間の屋外暴露を経過しても初期の滑雪性能は、維持していることが確認できた。

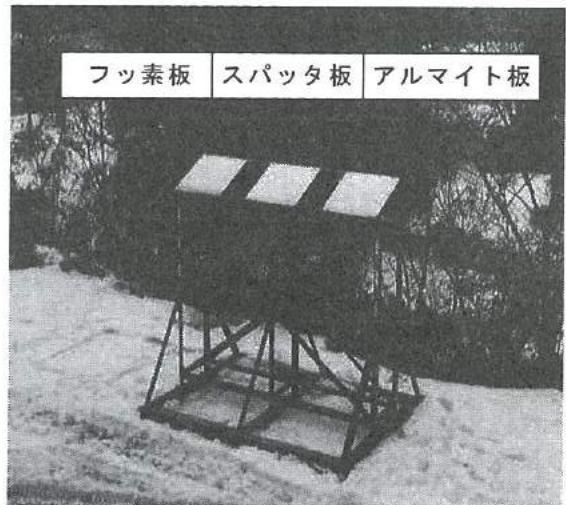


図9 屋外試験状況

Fig.9 Test scene of outdoor snow-sliding test

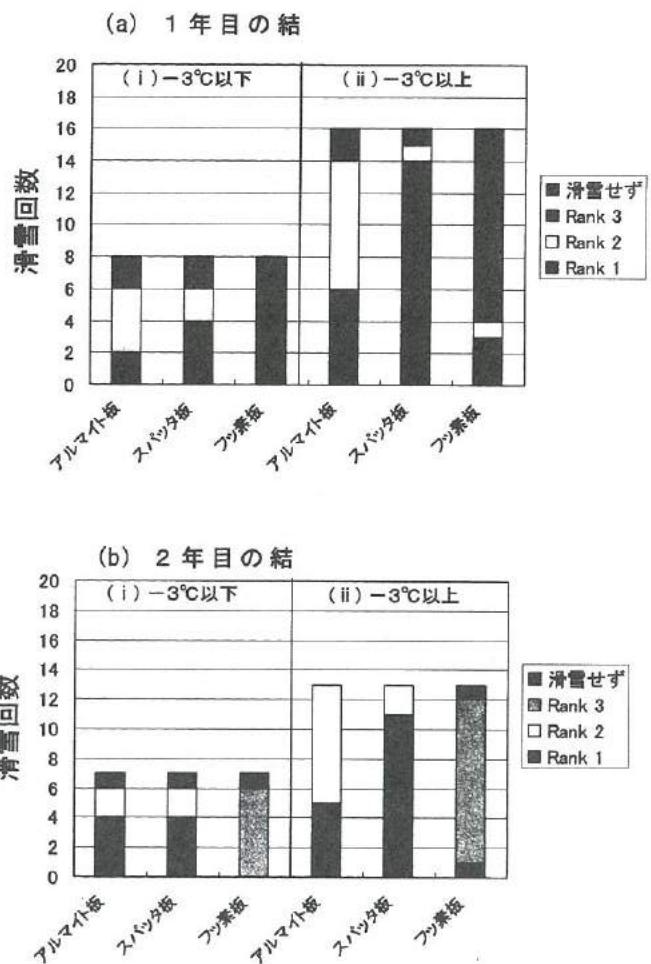


図10 屋外滑雪試験結果

Fig.10 Result of outdoor snow-sliding test for (a) new samples and (b) leaved samples for one year

また、 $-3^{\circ}\text{C}$ 以上の場合も2年目のスパッタ板の滑雪開始時間は著しく早く、酸化チタン膜の表面は、湿り雪の滑雪性能に対する有効性を維持していることも確認できた。

滑雪の状況を調べた結果、スパッタ板の場合は気温の上昇により確実に落雪したのに対し、アルマイト板及びフッ素板では一部融解して残った雪の上に、更に雪が積もる場合があった。この状態は、再氷結した重い雪氷塊が落下することになるため、危険性が高いと考えられる。平野部における観測結果も同様に、一年間の屋外暴露を経過してもスパッタ板の滑雪性能は良好であった。

また、一年間の屋外暴露の試料と比較はできないが、今回作製したステンレス基板のスパッタ品は、非常に良い滑雪結果が得られた。これは、表面粗さがアルマイト板を基板としたスパッタ品と比較して小さいためであり、滑雪性能において表面粗さは重要な因子であることがわかる。

#### 4. 結 言

本研究では、道路標識板や橋梁アーチ部等への雪氷塊の成長を防止するため、酸化チタンの超親水作用を利用した滑雪板の開発を試みた。特に、耐食性や加工性を考慮し、基板にはアルミ塗装板やステンレス板を用いた。また、生産性を考慮し、スパッタリング時の投入電力を変えた酸化チタン膜を作製し、特性評価を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① スパッタリングにより作製した酸化チタン膜の密着性は、基板の表面の性状により大きく変化する。
- ② 酸化チタン膜の親水性は、スパッタリング時の投入電力に影響されず、接触角は8度以下を維持していた。
- ③ 滑雪性能において、表面粗さは重要な因子であり、表面粗さが大きいと滑雪性能は低下する。また、酸化チタンを成膜することにより、表面粗さの滑雪性能に対する影響を低減できる。
- ④ 北陸地域における湿り雪に対しては、滑雪板として親水性の表面が良く、酸化チタンの超親水性は有効である。

- ⑤ スパッタリングによる酸化チタン膜は、高い光触媒活性を示すことから、長期間、滑雪性能を維持できるものと考えられる。

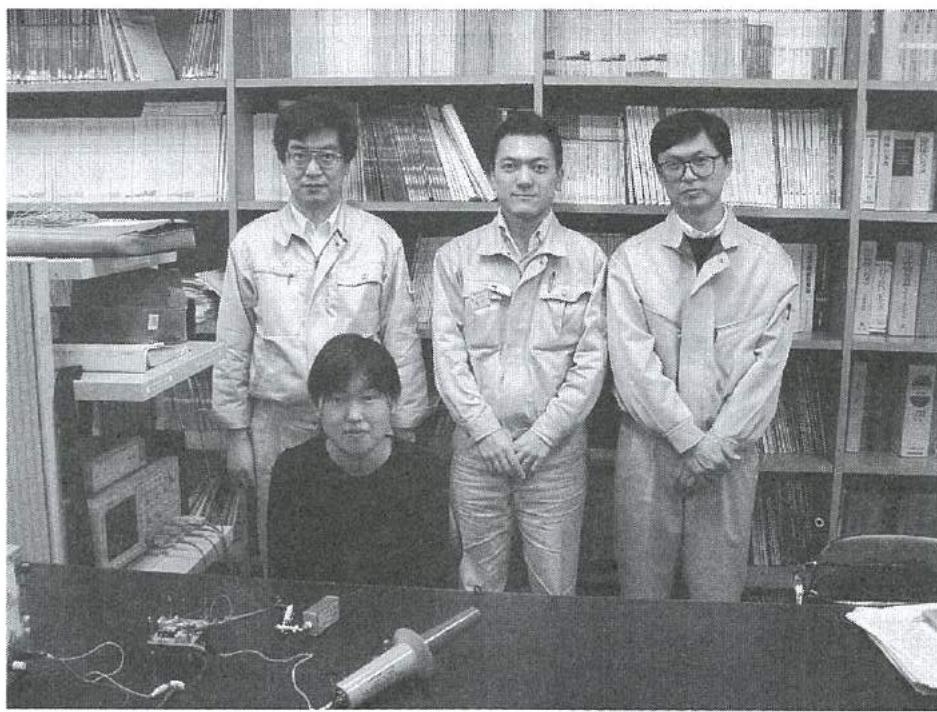
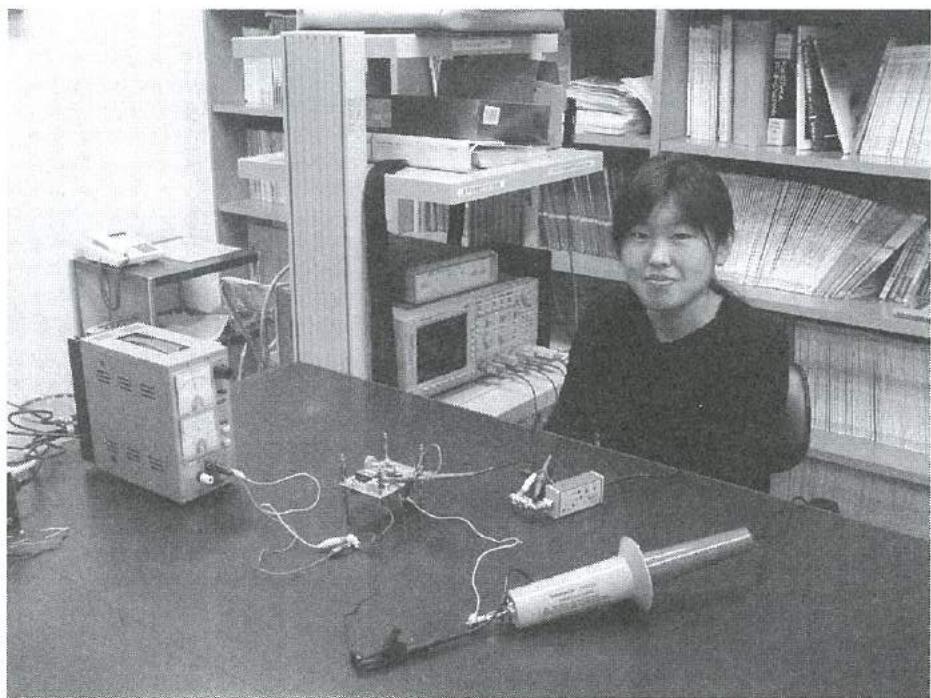
#### 謝 辞

本研究の遂行にあたり、屋外暴露試験にご協力いただいた富山県利賀少年自然の家事務所各位に厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

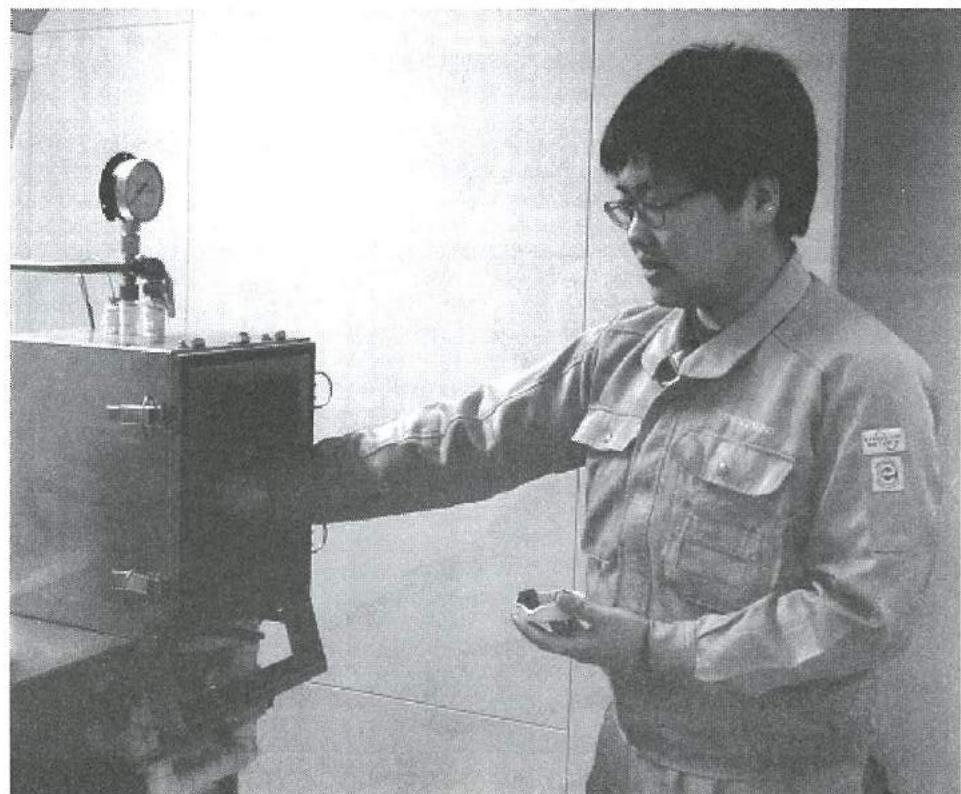
- (1) 吉田光則,吉田昌充,金野克美:北海道立工業試験場報告, No.299, p13-17(2000)
- (2) 河井牧夫,高橋伸忠,野田耕司,石井雅,高林外広,土肥義治,水見清和:平成13年度(第15回)若い研究者を育てる会研究論文集,p1-6,(2002)
- (3) 高林外広,Petr Zeman,高橋伸忠:会報光触媒,第5号 p23(2001)
- (4) 加古哲也,中島章,加藤善二,植松敬三,渡部俊也,橋本和仁:Journal of the Ceramic Society of Japan, 110[3], p186-192 (2002)

## 「マイナスイオン発生装置」グループの研究活動風景



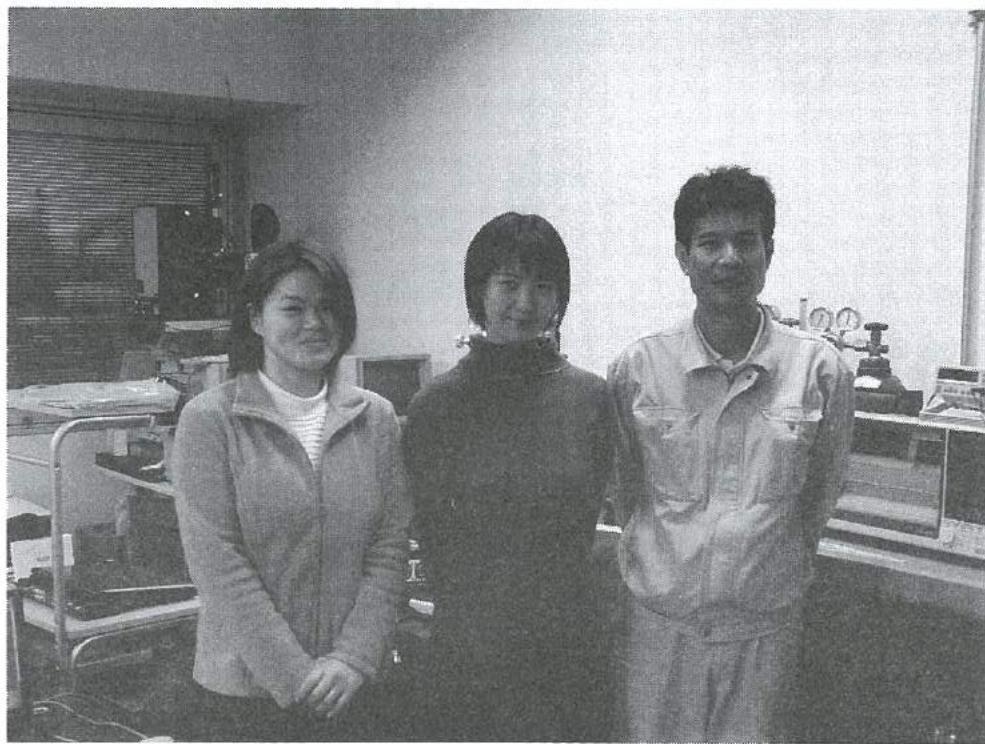
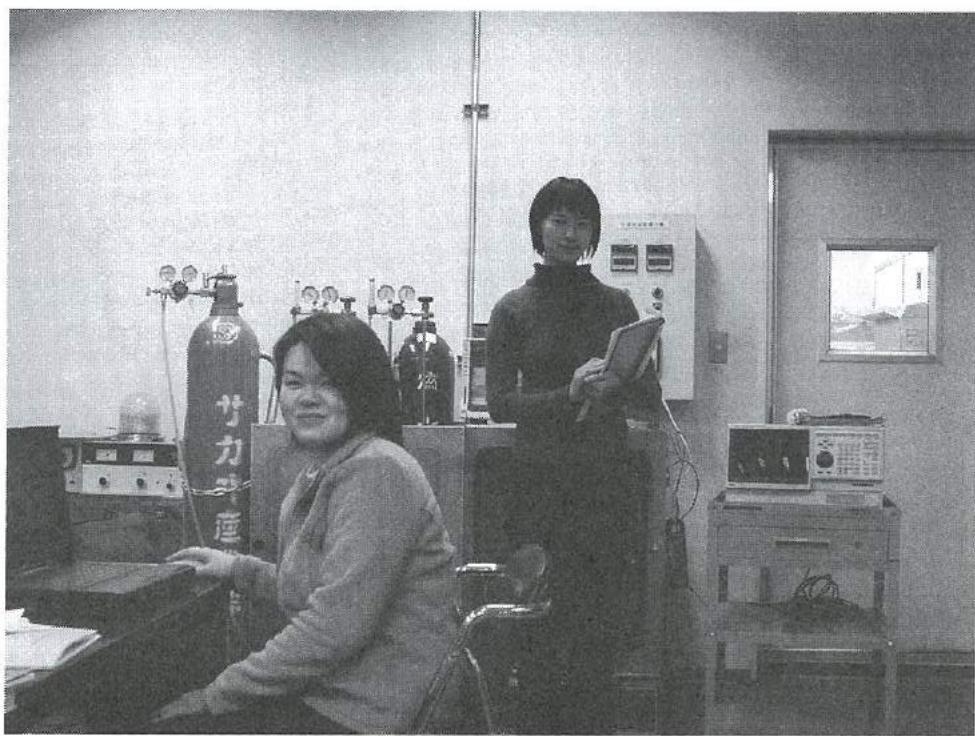
(付-1)

「排ガス吸着材料」グループの研究活動風景

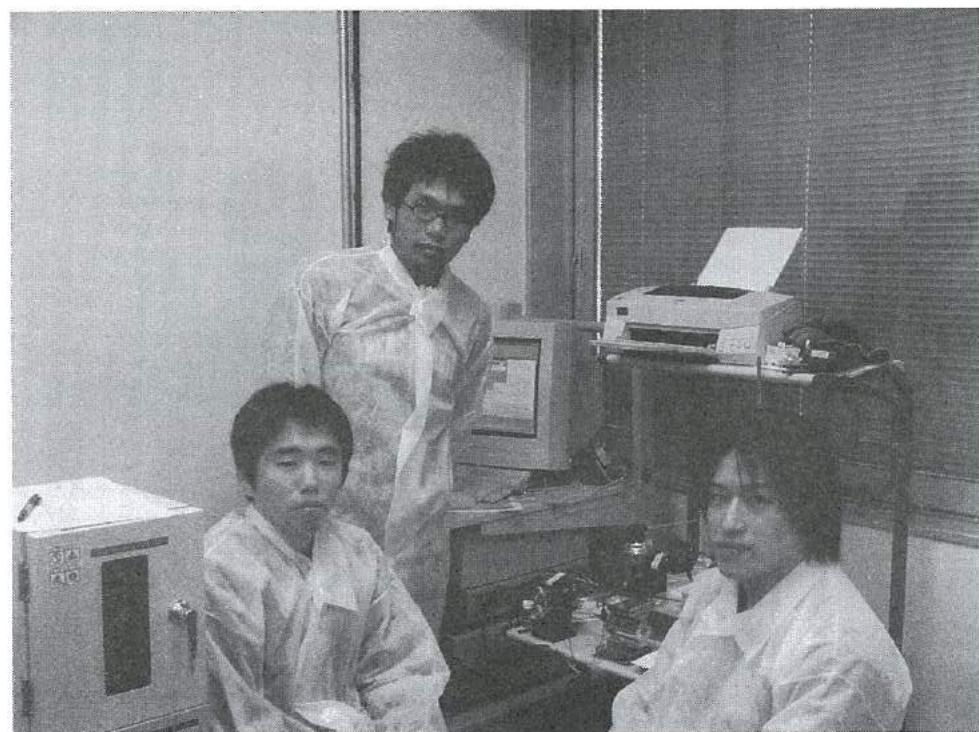
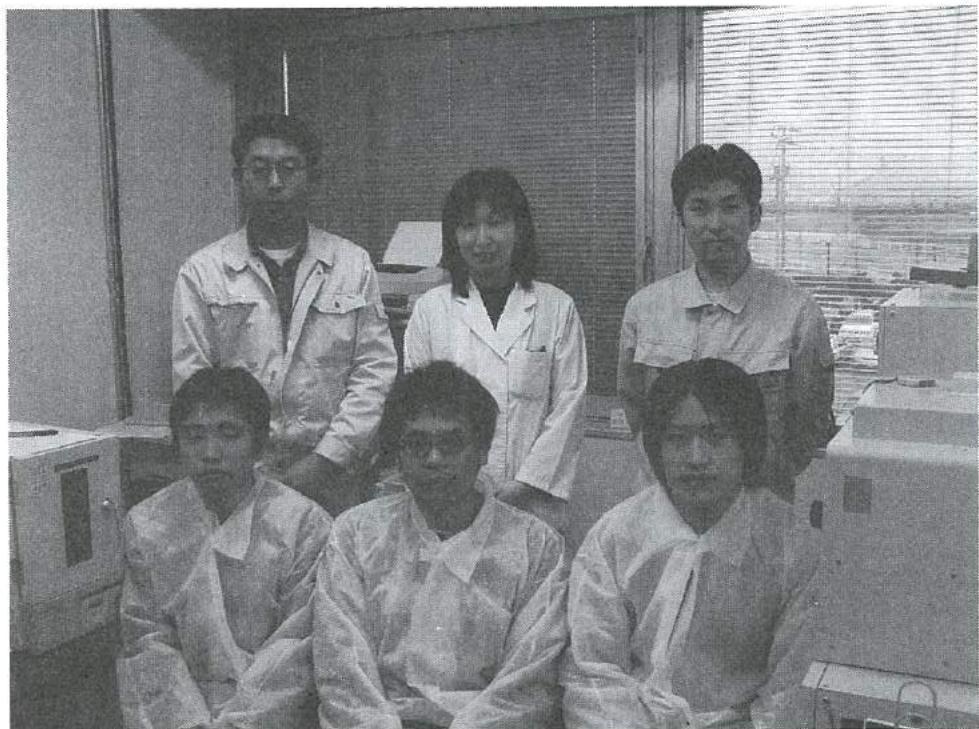


(付・2)

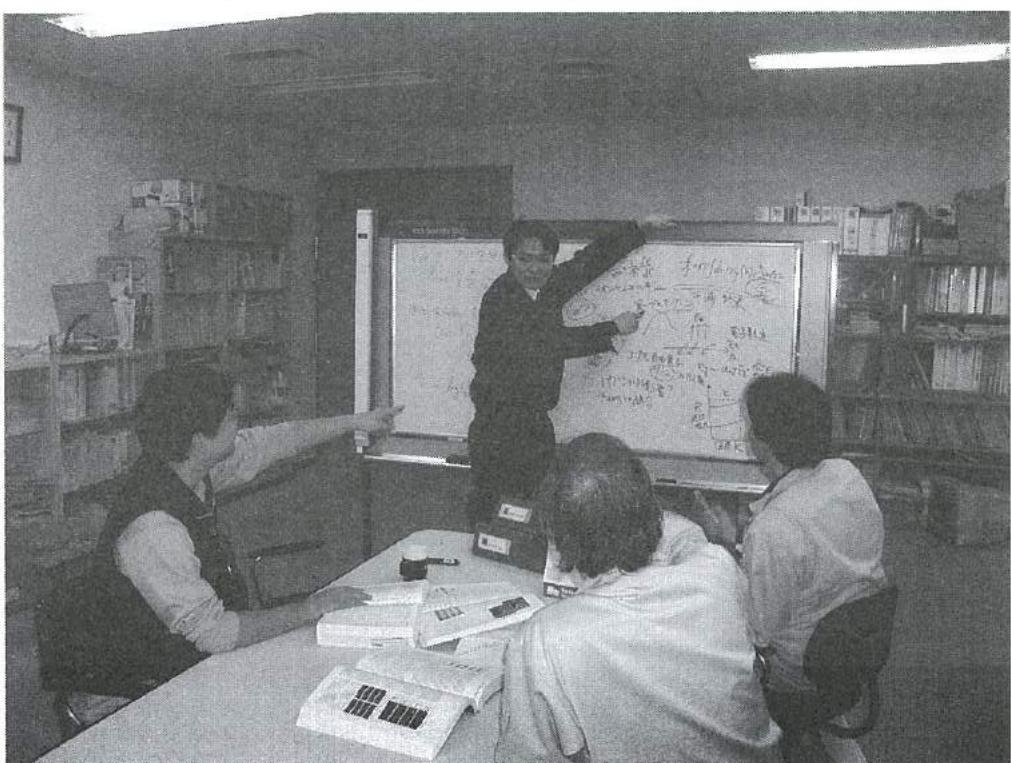
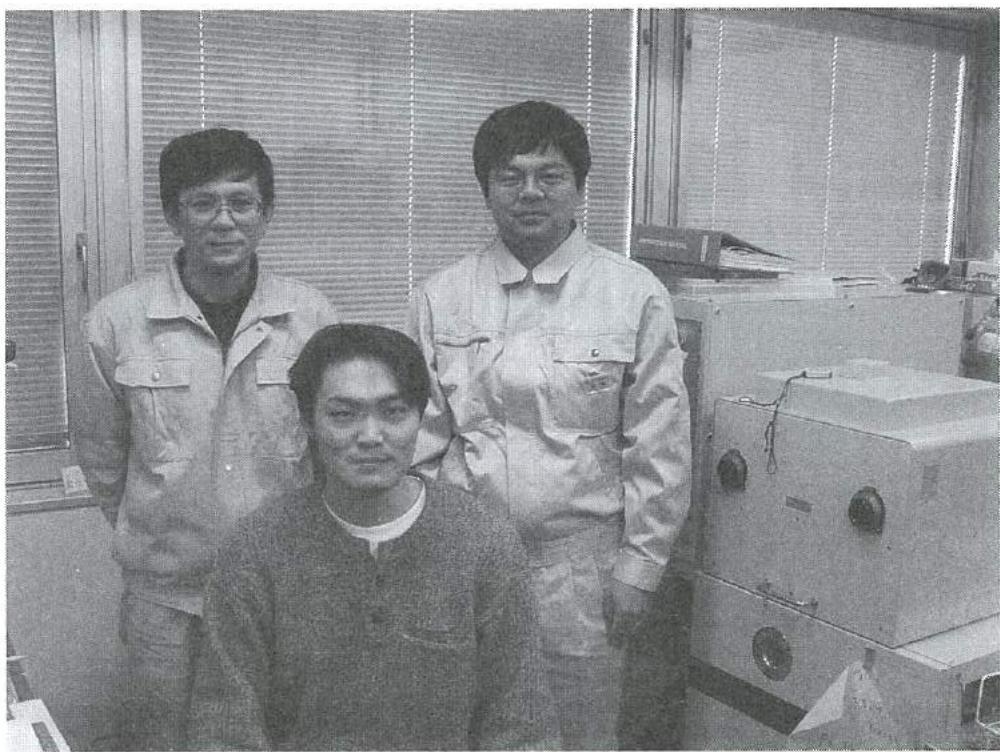
「ダイレクトメタノール小型燃料電池」グループの研究活動風景



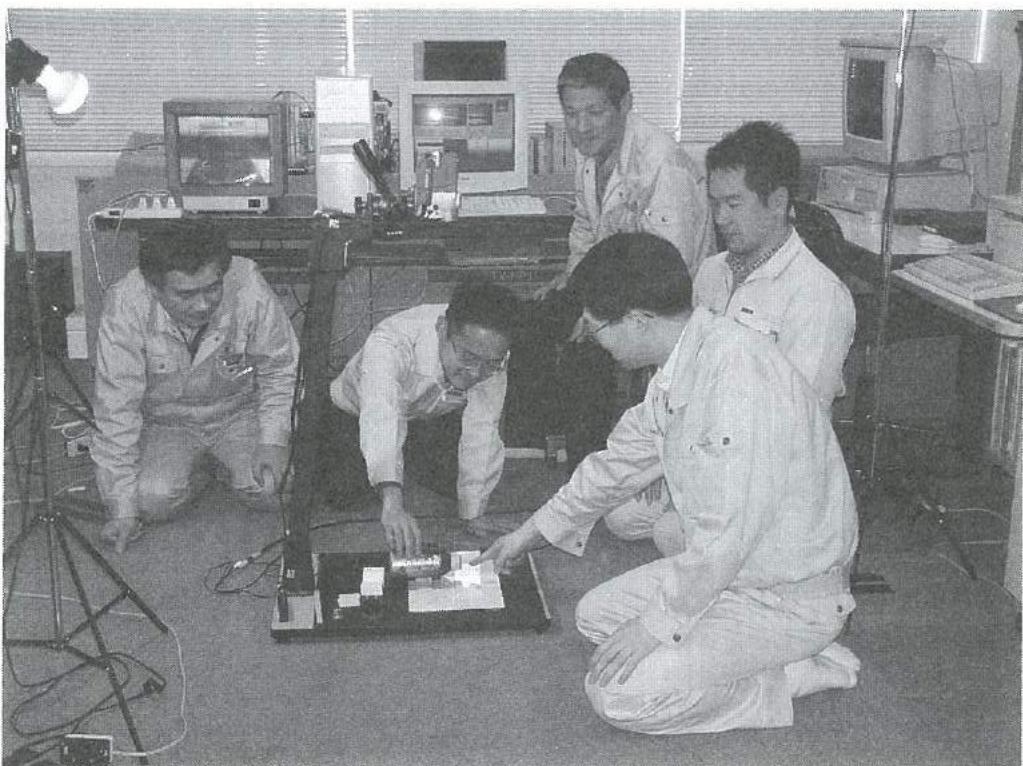
## 「体質診断用DNAチップ」グループの研究活動風景



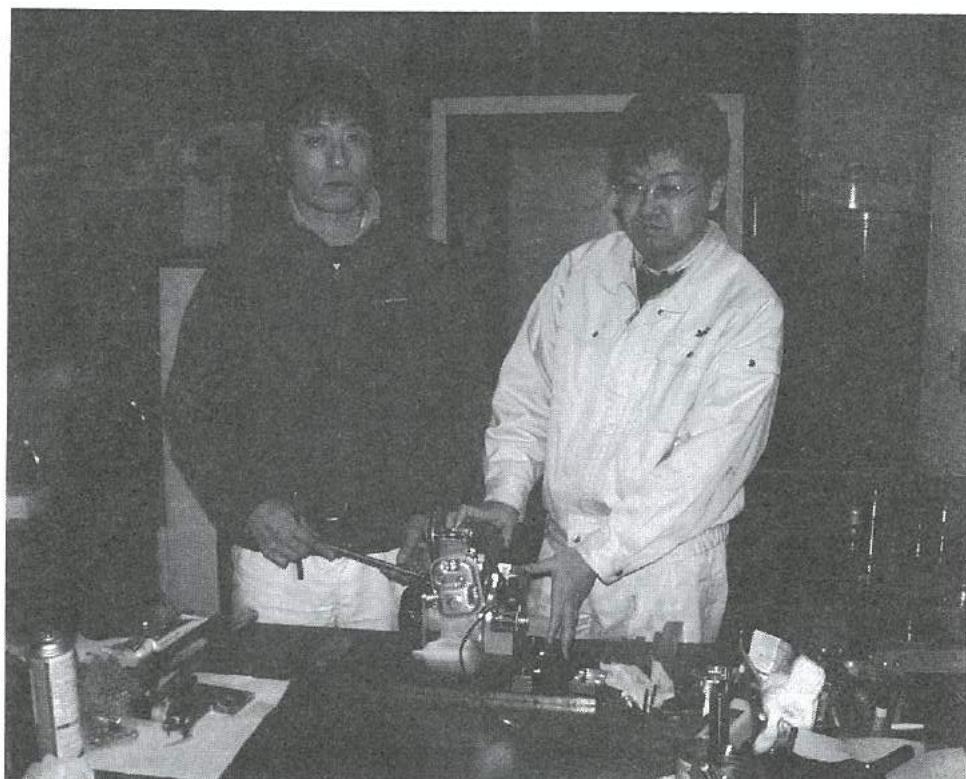
## 「MEMS応用高精度温度センサ」グループの研究活動風景



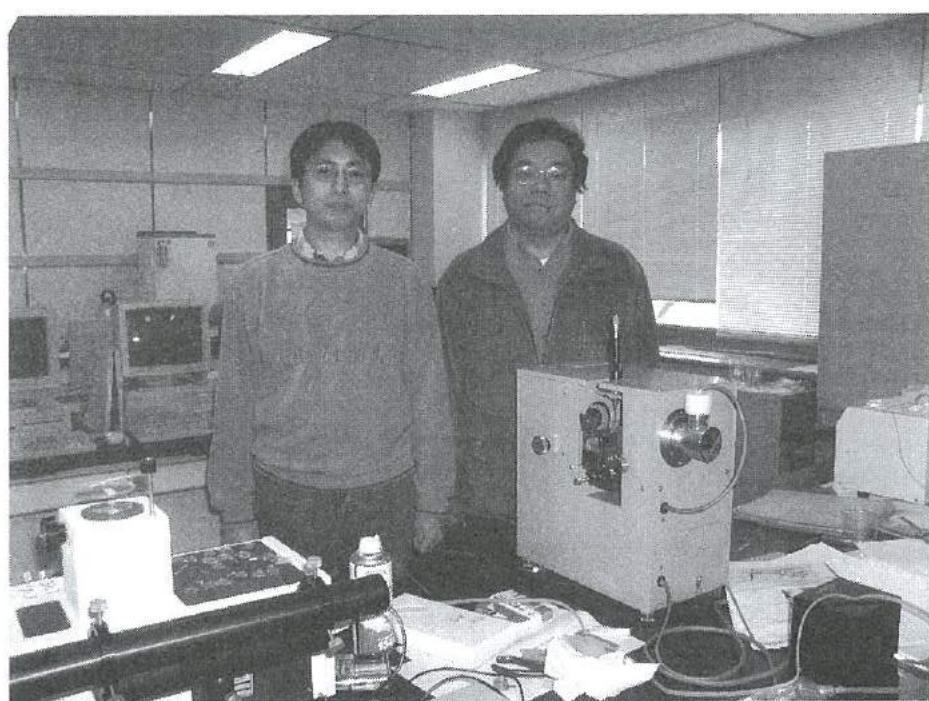
「アルミ飲料容器の形状評価手法」グループの研究活動風景



「超小型4サイクルエンジン」グループの研究活動風景



「滑雪機構の改善」グループの研究活動風景



## 「若い研究者を育てる会」の研究活動の足跡

○16年間の研究テーマ数：102テーマ（昭和62年度～平成14年度）

○参加研究員延べ人数：230名（指導機関の研究員を除く）

☆昭和62年度（第1回）研究テーマと研究参加者（3テーマ、12名）

### 1. 複合材料の開発—金属粉末・樹脂複合材料による射出成形用簡易金型材料の開発

竹本要一（㈱タカギセイコー）・田上輝次（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

### 2. 金属酸化物単結晶の作製とその応用開発—中高温用サーミスタの開発

岡崎誠一（北陸電気工業㈱）・加藤昌憲（日本钢管㈱）・滝川義弘（燐化学工業㈱）

堀田 孝章（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

### 3. フレキシブルハンドの開発—介護ロボット用アームの試作

石崎 浩・滝森幸浩（タカノギケン㈱）・茨木正則（北日本電子㈱）

・西田信孝（㈱タカギセイコー）・山田俊一（エルコー㈱、現コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

☆昭和63年度（第2回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、21名）

### 1. フレキシブルハンドに関する研究—ロボット用アームの試作（II）

石崎 浩・滝森幸浩（タカノギケン㈱）・茨木正則（北日本電子㈱）

窪池義文（エルコー㈱、現コーセル㈱）・滝脇優治（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

### 2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究—圧電音響素子の開発

小西孝浩（タカノギケン㈱）・小町秀彦（㈱タカギセイコー）・滝川義弘（燐化学工業㈱）

平能 司（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

### 3. Co-Met-a系アモルファス軟磁性薄膜に関する研究

越浜哲夫（㈱不二越東富山製鋼所）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

### 4. 樹脂・ファイバー複合材バネに関する研究

池田秀男（㈱タカギセイコー）・上段一徳（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）

柳原 潔（㈱黒田精型）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

### 5. Pb系セラミックス薄膜に関する研究—光シャッター及び赤外線センサの開発

中溝佳幸（北陸電気工業㈱）・水谷里志（立山電化工業㈱）

宮沢進一（吉田工業㈱、現YKK㈱黒部工場）

山田義昭（東洋化工㈱）・山本直樹（NKK（日本钢管㈱）富山製造所）

◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

6. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究－機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発  
古瀬正浩（㈱インテック）・堀井 孝（エルコー㈱、現コーチル㈱）  
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成1年度（第3回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、19名）

1. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

池田秀男・高柳敏信（㈱タカギセイコー）・上段一徳（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）  
柳原 潔（㈱黒田精型）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究－圧電薄膜音響光学素子の開発

小西孝浩（タカノギケン㈱）・滝川義弘・煙田不二男（㈱化学工業㈱）  
平能 司（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 焦電型赤外線センサに関する研究－RFマグネットロンスパッタ法によるチタン酸鉛薄膜の作製

山田義昭（東洋化工㈱）・吉田孝一（㈱タカギセイコー）・吉野正浩（吉田工業㈱、現YKK㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究

越浜哲夫（㈱不二越）・西田達也（北陸電気工業㈱）・前坂昌春（エルコー㈱、現コーチル㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究－機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発

古瀬正浩（㈱インテック）・堀井 孝（エルコー㈱、現コーチル㈱）  
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

6. 超音波メガネの研究

中村 亮（北日本電子㈱）・中山正明（㈱和泉電気富山製作所）  
◎指導機関：富山大学工学部

☆平成2年度（第4回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、16名）

1. 磁性薄膜の応用に関する研究－倍周波型磁気センサの開発

越浜哲夫（㈱不二越）・高島 誠（エルコー㈱、現コーチル㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

高柳敏信（㈱タカギセイコー）・田村正行（吉田工業㈱、現YKK㈱）・柳原 潔（㈱黒田精型）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

尾畠哲史（㈱和泉電気富山製作所）・山田義昭（東洋化工㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究

煙田不二男（㈱化学工業㈱）・若林成喜（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 画像による寸法計測に関する研究

石黒哲也（㈱タナカエンジニアリング）・窪池義文（エルコー㈱、現コーチル㈱）

西浦慎一・村井哲雄（㈱タカノギケン）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 超音波杖の開発

中村 亮（北日本電子㈱）・堀登紀男（㈱和泉電気富山製作所）

◎指導機関：富山大学工学部

7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究－完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一（立山科学工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成3年度（第5回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、14名）

1. 強誘電体薄膜の応用に関する研究－光書き込み型メモリの開発

玉川 勤（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

桜栄和則（㈱タカギセイコー）・田村正行（吉田工業㈱、現YKK㈱）・柳原 潔（㈱黒田精型）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 画像による円筒内面検査装置の開発に関する研究

荒木満男（㈱タナカエンジニアリング）・西浦慎一（㈱タカノギケン）

山本達生（エルコー㈱、現コーチル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

尾畠哲史（㈱和泉電気富山製作所）・山田義昭（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 薄膜微細加工技術の研究

飴井俊裕（エルコー㈱、現コーチル㈱）・竹端精己（㈱不二越）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究

岩田雅明（北日本電子㈱）・島野英明（㈱インテック）

◎指導機関：富山大学工学部

7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究－完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一（立山科学工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成4年度（第6回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. マイクロマシンに関する研究

白石信幸（コーチル株）・新谷哲也（北陸電気工業株）・吉井靖岳（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 薄膜微細加工技術の研究トランスの試作

伊勢寿夫（コーチル株）・戸田雅規（株不二越）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 形状測定装置の開発に関する研究

野末昌朗（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 透明プラスチックス製品の欠陥検査装置の開発

大岩秀徳（三協アルミニウム工業株）・長峰浩幸（株タカギセイコー）・本堂 裕（株斎藤製作所）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 短音節認識による音声一点字変換装置に関する研究

北喜靖規（北日本電子株）・島野英明（株インテックシステム研究所）

◎指導機関：富山大学工学部

6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一（立山科学工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成5年度（第7回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. 機能性膜の微細加工に関する研究—磁気式回転センサおよび温度抵抗素子の試作

伊東 守（コーチル株）・森田智之（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. マイクロマシンに関する研究

川西和昭（三協アルミニウム工業株）・後藤 肇（コーチル株）

佐々木啓充（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 有機電子材料に関する研究

雨野孝信（株タカギセイコー）・堀田正人（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. リン酸塩系セラミックス固体電解質に関する研究

黒川寛幸（北陸電気工業株）・山口 瞳（鱗化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. R I MのC A Eに関する研究

杉田孝嗣（三協アルミニウム工業株）・中村和禎（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（I）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成 6 年度（第 8 回）研究テーマと研究参加者（6 テーマ、16 名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

小山直人（㈱タカギセイコー）・寺本正夫・杉谷 健（コーチセル㈱）

中村厚平（エヌアイシ・オートテック㈱）

松田英雄（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

高柳 肇（コーチセル㈱）・田村雅英（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. リン酸エッティング液の基礎研究

山口 瞳（燐化学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 傾斜機能膜素子の開発

市川良雄（富山軽金属工業㈱）・福本 滋（北陸電気工業㈱）・三松克次（㈱タカギセイコー）

山下慎也（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 3 次元入力デバイスの開発－（バーチャルリアリティ用）

細木文夫（三協アルミニウム工業㈱）・横山 大（長岡技術科学大学）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（2）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）・米谷庄一（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成 7 年度（第 9 回）研究テーマと研究参加者（8 テーマ、15 名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発（2）

大浦真司（三協アルミニウム工業㈱）・高田謙一（コーチセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究

永森和久（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 電子回路用ウエットエッティング液の開発

山口 瞳（燐化学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発

高橋伸忠（㈱タカギセイコー）・能村輝一（北陸電気工業㈱）

・ 山下慎也（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微動機構による機械の高度化の研究

佐野仁一（東洋化工㈱）

- ◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 薄膜超磁歪素子の研究  
酒井隆正（コーセル株）・谷上英樹（北陸電気工業㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
7. レドックス型太陽発電システムの開発  
市川良雄・大橋伸一（富山軽金属工業㈱）・三井清隆（㈱タナカエンジニアリング）  
長谷川益夫（富山県林業技術センター・木材試験場）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
8. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（3）  
五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）  
◎指導機関：高志リハビリテーション病院
- ☆平成8年度（第10回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、15名）
1. 機能性薄膜を用いたマイクロポンプの研究  
三松克次・笛島和明（㈱タカギセイコー）・田島正康（㈱タナカエンジニアリング）  
田中 篤（北陸電気工業㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 鋼造成形の簡易シミュレーションに関する研究  
松井裕昭（㈱タナカエンジニアリング）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
3. レドックス型太陽発電システムの開発（2）  
市川良雄（富山軽金属工業㈱）・田畠裕信（中越合金鋳工㈱）  
三井清隆（㈱タナカエンジニアリング）  
長谷川益夫（富山県林業技術センター・木材試験場）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 複数のロボットによる協調制御の研究  
金田淳也（コーセル㈱）・森田裕之（立山アルミニウム工業㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
5. 多孔質シリコンの形成に関する研究  
石川秀人（北陸電気工業㈱）・安田純子（コーセル㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 蓄光性蛍光膜の開発  
佐野仁一（東洋化工㈱）・二見泰雄（三協アルミニウム工業㈱）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

☆平成9年度（第11回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、18名）

1. レドックス型太陽発電システムの開発（3）  
市川良雄（富山軽金属工業㈱）・田畠裕信（中越合金鋳工㈱）  
野中義夫（㈲トヤマ技術開発研究所）・長谷川益夫（富山県林業技術センター・木材試験場）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 複数のロボットによる協調制御の研究（2）

森田裕之（立山アルミニウム工業㈱）・渡辺暁信（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 生活環境用臭センサの開発

垣内由美子（コーセル㈱）・角谷哲哉（北陸電気工業㈱）・小島理敬（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電力変換用圧電セラミックストラスの開発

堀井一宏（コーセル㈱）・柳川 新（立山科学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 局部的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発

丹保哲也（北陸電気工業㈱）・野上拓也（㈱タナカエンジニアリング）・山田浩美（東洋化工㈱）

滝川健太郎（金沢大学工学部）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 電気自動車の開発

坂本雅美（㈱斎藤製作所）・高橋 聰（㈱タナカエンジニアリング）

藤木和幸（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成10年度（第12回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、11名）

1. 圧電素子を用いた制振機構の研究

稻垣 聰（北陸電気工業㈱）・渡辺暁信（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究

野上拓也（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 生活環境用においセンサの開発（2）

星野昌則（コーセル㈱）・南 政克（北陸電気工業㈱）・山田浩美（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電気自動車の開発（2）

坂本雅美（㈱斎藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微細放電加工の研究

太田光則（㈱斎藤製作所）・橋本 明（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

6. 電磁シールド材の基礎研究

高橋伸忠（㈱タカギセイコー）・福田隆之（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成11年度（第13回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、14名）

1. エンジンの動弁機構における構造解析及び強度評価

島村和彦（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究（2）

高田智哉（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 深層水及び藻類を利用した太陽光発電の基礎研究

東堂浩次（コーセル㈱）・坂本雅美（㈱齊藤製作所）・長谷川益夫（木材試験場）

小善圭一（水産試験場）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

4. 山岳遭難者探索システムの探索性能向上に関する研究

前田智博（立山科学工業㈱）・高瀬 洋（県警察本部）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. インテリジェントにおいてセンサの開発

小森一哉（北陸電気工業㈱）・石川勝巳（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

6. 微細放電加工の研究（2）

太田光則（㈱齊藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

7. 機能性高分子を用いたアクチュエータの開発研究

小中稔正（YKK㈱）・山田浩美（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. プラスチックス上のハードコーティング技術の研究

高橋伸忠（㈱タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成12年度（第14回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. 「ANSYS」を使用した動的機構解析の応用

島村和孝（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. インテリジェントにおいてセンサーの開発（2）

小森一哉（北陸電気工業㈱）・谷口真也（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

3. 高摩擦係数材料の開発

高田智哉（田中精密工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 木粉末を配合したプラスチックシリサイクル材の研究

酒井康弘（㈱タカギセイコー）・前田健二（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

## 5. 低温駆動型小型燃料電池の開発に関する基礎研究

高橋雄一（コーチル株）・山田浩美（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成13年度（第15回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、14名）

### 1. 滑雪板（着雪防止版）の開発

河井牧夫（田中精密工業株）・高橋伸忠（株タカギセイコー）

野田耕司（三協アルミニウム工業株）・石井 雅（富山県土木部）

◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所

### 2. 分子機能材料を用いた光電池の研究開発

濱口 誠（コーチル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 3. 高摩擦係数材料の研究（2）

高田智哉（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

### 4. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材料の研究

酒井康弘（株タカギセイコー）・前田健二（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部

### 5. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発

小出哲雄（コーチル株）・坂本雅美（株齊藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

### 6. 体質診断用DNAチップと測定装置の開発

水島昌徳（立山科学工業株）・川上浩美（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センターP J・機械電子研究所

### 7. マイクロマシニング技術による2軸型シリコンピエゾ抵抗式加速度センサの開発

桑原大輔（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センターP J・機械電子研究所、富山大学工学部、J S T

### 8. アルミ表面解析技術の高度化に関する研究

澤井 崇（武内プレス工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成14年度（第16回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、13名）

### 1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発（2）

石見雅美（株齊藤製作所）・稻澤直子（コーチル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

### 2. 生活習慣病等体質診断用DNAチップと評価機器の開発（2）

碓井洋平（立山科学工業株）・水原 崇（コーチル株）・米嶋勝宏（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・P J・中央研究所

### 3. MEMSを応用した高精度温度センサの開発

今村徹治（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・P J、富山大学工学部

4. アルミ飲料容器の形状評価手法の開発  
清水 歩（武内プレス工業株）  
◎指導機関：工業技術センター中央研究所・P J
5. 超小型(20cc前後)4サイクルエンジンの開発  
杉森雅一（エヌアイシ・オートテック株）・中西智英（田中精密工業株）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 滑雪機構の改善に関する研究  
河井牧夫（田中精密工業株）・野田耕司（三協アルミニウム工業株）  
◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所
7. 圧電トランスを用いたマイナスイオン発生装置の開発  
山田英子（立山科学工業株）  
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
8. 有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討  
酒井康弘（株タカギセイコー）  
◎指導機関：工業技術センター生活工学研究所、機械電子研究所

## 第9回『自作ミニチュアマシン・サッカーゲームコンテスト』

1. 競技日： 平成14年10月5日（土）午前10時～午後4時
2. 会場： テクノホール（富山産業展示館）特設会場
3. 主催： 若い研究者を育てる会
4. 共催： マルチメディアフェア実行委員会、財団法人富山県新世紀産業機構、富山県工業技術センター機械電子研究所
5. 後援： 富山県教育委員会
6. 参加チーム： 17チーム、36名
7. ゲーム結果（全チームに賞状、トロフィ、メダル、副賞授与）

テクノ大賞	米田・赤畠：富山県立砺波工業高等学校 自作マシンの愛称：OVER SOUL
優勝	寺田・五十嵐・小川：富山県立大沢野工業高等学校 自作マシンの愛称：*KENDO
次勝	米田・赤畠：富山県立砺波工業高等学校 自作マシンの愛称：OVER SOUL
技術賞	石倉・柳原：富山県立魚津工業高等学校 自作マシンの愛称：黄金の左
技術賞	木戸・神田：富山県立砺波工業高等学校 自作マシンの愛称：OUT
努力賞	木澤・堀田・出戸端：富山県立魚津高等学校 自作マシンの愛称：鉄人28peso
努力賞	大山本・大西：富山県立海洋高等学校 自作マシンの愛称：ケリー&守 ジュニア
努力賞	今西・嶋崎：富山県立大沢野工業高等学校 自作マシンの愛称：*トップスター
努力賞	西田・北川：富山県立大沢野工業高等学校 自作マシンの愛称：*ノーストザウエスト
努力賞	服部・長柄：富山県立富山工業高等学校 自作マシンの愛称：Bu!超~
努力賞	佐伯・米澤：富山県立富山工業高等学校 自作マシンの愛称：鉄板素虎—カーズ Mk II
努力賞	南・中田：富山県立二上工業高等学校 自作マシンの愛称：By The Way
努力賞	湊・宮崎：富山県立二上工業高等学校 自作マシンの愛称：猫のカルパッチョ
努力賞	木戸・神田：富山県立砺波工業高等学校 自作マシンの愛称：OUT
努力賞	川原・塚本：富山県立砺波工業高等学校 自作マシンの愛称：エレファント
努力賞	岡本・丸田：富山県立砺波工業高等学校 自作マシンの愛称：*鎧我転志帶
努力賞	松田・山田：富山県立砺波工業高等学校 自作マシンの愛称：ジュラ紀
努力賞	大木・古木：富山県立砺波工業高等学校 自作マシンの愛称：*ヒカル

(\*印は無線コントロールマシン)

### 8. 試合方式

- ・1チーム2台（攻撃マシンとキーパーマシン）による1試合2チームの対戦方式
- ・サッカーコート寸法：90×120cm
- ・マシンの寸法：10×10×10cm以内・有線リモートコントロール方式
- ・試合方式：予選リーグ戦、決勝トーナメント戦。試合時間は5分ハーフの計10分

# 会員企業

平成15年3月19日現在（50音順）

	企業名	代表者名	運営委員	電話
1	エヌアイシ・オートテック㈱	西川 浩司	西尾 謙夫	076-422-2578
2	コーチル㈱	町野 利道	織田 誠二	076-432-8151
3	㈱齊藤製作所	齊藤 恵三	森本 政典	076-468-2727
4	三協アルミニウム工業㈱	川村 人志	吉岡 茂喜	0766-20-2366
5	㈱タカギセイコー	羽場 光明	武田 雅彦	0766-24-5621
6	タカノギケン㈱	高野 啓良	滝森 幸浩	076-455-2525
7	武内プレス工業㈱	武内 繁和	駒井 義時	076-441-1856
8	立山アルミニウム工業㈱	要明 英雄	伊藤 房男	0766-64-4419
9	立山科学工業㈱	水口昭一郎	諸橋 康平	076-429-6024
10	田中精密工業㈱	田中 一郎	高木 善昭	076-451-5600
11	東洋化工㈱	中田 守人	村井 文雄	076-475-2125
12	長柄鉄工㈱	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
13	北陸電気工業㈱	野村 正也	山本 肇	076-467-3768
14	燐化学工業㈱	中嶋 武俊	滝川 義弘	0766-86-2511
15	YKK㈱黒部事業所	水牧 靖久	川上 紘一	0765-54-8030

事務局：（財）富山県新世紀産業機構内 〒930-0866 富山市高田529 TEL:076-444-5607（上野）

## 研究会員（研究幹事）

（50音順）

氏名	所属	役職	学位	電話
川越誠	富山県立大学工学部	助教授	工学博士	0766-56-7500
佐山利彦	工業技術センター機械電子研究所	主任研究員	工学博士	076-433-5466
高林外広	工業技術センタープロジェクト推進	主任研究員	工学博士	0766-21-2121
谷野克巳	工業技術センター機械電子研究所	所長	工学博士	076-433-5466
丹保豊和	富山大学工学部	助教授	工学博士	076-445-6727
藤城敏史	工業技術センタープロジェクト推進	主幹研究員	工学博士	0766-21-2121
二口友昭	工業技術センター機械電子研究所	副主幹研究員	工学博士	076-433-5466
古田勲	富山医科薬科大学医学部	教授	歯学博士	0766-56-7500
升方勝己	富山大学工学部	教授	工学博士	076-445-6714

### ○歴代会長（会長人事は会員企業内持ち回り、2代目からは任期2年）

- 初代会長 館 久晴（昭和62年度～平成4年度）
- 2代会長 高木 正明（平成5年度～平成6年度）
- 3代会長 中田 守人（平成7年度～平成8年度）
- 4代会長 野村 正也（平成9年度～平成10年度）
- 5代会長 田中 一郎（平成11年度～平成12年度）
- 6代会長 武内 繁和（平成13年度～）

### ○顧問（50音順）

- 石坂 誠一（（財）化学・バイオつくば財団理事長）
- 植松哲太郎（富山県立大学工学部長）
- 龍山 智栄（富山大学工学部長）
- 東保喜八郎（（財）富山県新世紀産業機構参与・技術開発部長）
- 南日 康夫（工業技術センター所長・（財）富山県新世紀産業機構・科学技術コーディネーター）
- 宮本 孝（（財）富山県新世紀産業機構専務理事）

(様式 1)

## 「若い研究者を育てる会」入会申込書

企 業 名

(事業所名)

代 表 者 名

住所、電話番号及びファクシミリ番号

〒

T E L :

F A X :

連絡担当者所属、役職及び氏名

上記のとおり貴会へ入会を申し込みます。

平成 年 月 日

企 業 名

印

(事業所名)

「若い研究者を育てる会」 殿

◎ 「若い研究者を育てる会」では会員企業を随時募集しています。

- ・申し込みは郵送またはファクシミリにてお願いします。
- ・申し込み用紙は本票をコピーしてご利用ください。
- ・その他不明な点は事務局へお問合せください。

☆申し込み先

〒930-0866 富山市高田529

(財) 富山県新世紀産業機構

「若い研究者を育てる会」事務局

T E L 076-444-5607

F A X 076-444-5630

発 行 者	若い研究者を育てる会
発行者住所	〒930-0866 富山市高田529 (財)富山県新世紀産業機構 プロジェクト推進課内
編集責任者	富山県工業技術センター プロジェクト担当:藤城 敏史 機械電子研究所:谷野 克巳
発行年月日	平成15年3月19日
印 刷 所	富山スガキ株式会社

\* 無断転載を禁ずる。非 売 品。