

平成 15 年 度

(第 17 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研 究 論 文 集

平成 16 年 3 月 19 日 (金)

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 齊 藤 恵 三

ダイナマイトの発明によって莫大な財産を得たノーベル。科学の発展と平和を願う彼の意志によって、1901年ノーベル賞が創設された。伝記などによってノーベルの功績は誰もが知るところであり、日本で最初に受賞されたのは湯川秀樹博士(物理学)であった。身近に思えたのは、わが郷土から輩出した田中耕一さんのノーベル受賞の栄誉があったからであろう。著名な科学者や作家、活動家などに贈られる賞は、どこか雲の上の存在であったのに、同郷の研究者の一人であった一サラリーマンに与えられたことへの驚き。そして、また、田中さんの飾らない人柄や言動に、近寄りたいたいノーベル賞の印象を払拭させられた。何よりも少
年少女たちに、「自分たちも、第二の田中さんをめざして!」という夢と希望を描かせた。



県内企業経営者有志の間で自社の研究人材の育成をはかるため、昭和60年度に「若い研究者を育てる会」が発足。工業技術センターや大学の教官等の指導をいただき、昭和62年度に第1回の研究発表がされてから、今回で17回目の発表となります。

各企業で研究開発の実践部隊として活躍している若い研究者が種々の研究課題と取り組み、その成果を大学の諸先生方や県工業技術センター、富山県新世紀産業機構のお力添えをいただき、「研究論文集」に纏め上げることができましたことに深く感謝申し上げますとともに、今後も変わらぬご支援をお願い申し上げます。

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6つの研究課題とグループを定め、平成15年5月から富山県工業技術センターにおいて、6グループ（6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、6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6テーマの研究概要を論文集掲載順に述べる。

富山大学工学部 工学博士 丹保 豊和

①「薄膜超低温度特性抵抗器の開発」の研究グループ(参加企業1社)では、市販の高価な金属皮膜抵抗に取って替わる低温度係数を持つ安価な抵抗体を開発するために、RFスパッタリング法でSiを数パーセントドーブしたNiCr薄膜を作成しその抵抗値の温度依存性を測定した。これは金属の温度特性に半導体の温度特性を重ね合わせたものである。また、低温度係数抵抗体になると界面の影響が強く現われるので、NiCrとAl基板との間で歪と応力が抵抗値の温度変化に著しく影響を与えることをシミュレーションで計算した。実験的には熱膨張係数の近いアルミナと、熱膨張係数の低い石英ガラスを用い、界面での熱歪や応力の影響について検討をした。Siを数パーセントドーブしたNiCr薄膜とアルミナ基板でTCRが0に近い抵抗体を得ることができ、半導体を含まないNiCr薄膜より低い温度係数を持つ抵抗体を得ることができた。



富山大学工学部 工学博士 升方 勝己

②「ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(3)」の研究グループ(参加企業2社)では、次世代電気自動車や家庭、携帯電子機器などの小型電源として期待されている小型ダイレクトメタノール燃料電池(DMFC)の試作を目的として、構成の異なる4種の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。更に、パッシブ型セルを試作し、その動作について調査した結果、(1) ePTFE(25 μ m)の電解質膜で10mol%メタノール水溶液を供給した時、73mW/cm²(at 250mV)が得られた、(2)パッシブ型の小型燃料電池セルでは、出力密度が12mW/cm²と小さい場合は膜温とともに出力は安定する。しかし、40mW/cm²程度になると生成した水の影響による出力の低下が発生した。従って、高出力を維持するためには生成した水の除去方法の工夫が必要である、などの成果が得られた。



富山県工業技術センター中央研究所 工学博士 藤城 敏史

③「小径穴加工システムの開発」の研究グループ(参加企業1社)では、小径ドリルによる穴加工は放電加工などに比べて高精度の穴寸法や真円度の良好な加工が出来るが、小径穴加工時の工具剛性不足によるドリル折損や切り屑処理、穴位置精度など問題があり、本研究ではこのようなトラブルを軽減するために、ドリル加工中の切削力(スラスト荷重)をモニターしながら、その荷重をドリルの送り速度の制御に反映させる小径穴加工システムを開発した。開発したシステムは送り方向に振動を付加することで、(1)加工中のスラスト荷重が低減し、振幅の増大に伴いスラスト荷重をさらに低減させることができた、(2)材料の種類を変えても振動付加によるスラスト荷重低減が確認された、(3)振動を付加し荷重制御によって加工することによって工具の長寿命化が達成される、などの成果が得られた。



④「インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究」の研究グループ(参加企業1社)では、材料のロスがなく廃棄物を減少させることができること等から、産業用技術としても最近注目されているインクジェット法による電子部品の作製に関する基礎的検討を行った。現状の画像用インクジェットプリンター及び導電性の材料を使用した配線描画について実験を行ったところ、(1)積層タイプのアクチュエータを利用したインクジェットプリンターはより高い粘度の材料を吐出させることができ連続印刷の安定性も優れていること、(2)Agナノインクを使用して1回の印刷で1 μ mの厚みを得ることができ、さらに重ね印刷によりそれにほぼ比例した厚みを得られること、(3)現状の画像用プリンターでは線幅0.3mm程度の配線の印刷は可能であるが繰り返しの位置再現性が良くないため、細かいパターンの重ね印刷は望ましくないこと、などの知見を得た。



⑤「超小型4サイクルエンジンの開発(2)」の研究グループ(参加企業1)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の汎用4サイクルエンジンの開発を行った。具体的には、(1)吸気バルブのリフト曲線を調整しエンジンサイクルを変更することにより、単にシリンダの排気量を小さくしたエンジンと同等以上の出力や燃費を実現できること、(2)バルブスプリングのバネ定数を共振しない範囲で小さく設定すれば、出力が向上すること、(3)圧縮比を大きくすることにより燃焼効率および出力が向上すること、(4)排気量の調整は、ピストンのストローク量を変更するよりも、カム形状を変更する方が効率的であること、などの知見を得た。



⑥「生活習慣病等体質診断用DNAチップの検出精度向上に関する研究(3)」の研究グループ(参加企業3社)では、生活習慣病になりやすい体質を診断するDNAチップの開発とインピーダンス測定法の確立を目的として、肥満と糖尿病に関係するDNAをターゲットDNAおよびプローブDNAとして用い、インピーダンス測定値の検出感度向上に検討を加えた。その結果、(1)DNAチップにグリーンマスクによる液溜めセルを設けることで、ターゲットDNAおよびプローブDNAのハイブリダイゼーションの有無を安定して測定することが可能となった、(2)別の容器中でハイブリダイゼーション処理を行うことにより、ハイブリダイゼーション効率が向上し、完全一致型と不一致型DNAのハイブリダイゼーションの有無を高精度に検出することが可能となった、などの成果を得た。



以上、本書は6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17年間で実施した108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、今年度は2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、過去に実施した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16年3月

研究グループの構成

I. 薄膜超低温特性抵抗器の開発グループ

研究担当者 桑原 大輔 (北陸電気工業株)
○岩坪 聡 (工業技術センター機械電子研)
清水 孝晃 (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)
☆丹保 豊和 (富山大学工学部)

II. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発 (3) グループ

研究担当者 魚谷 一成 (コーセル株)
石見 雅美 (株斉藤製作所)
○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)
☆升方 勝己 (富山大学工学部)

III. 小径穴加工システムの開発グループ

研究担当者 手嶋 成市 (株タカギセイコー)
○杉森 博 (工業技術センター機械電子研)
藤井 弘之 (工業技術センター機械電子研)
☆藤城 敏史 (工業技術センター中央研)

IV. インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究グループ

研究担当者 増山 智英 (立山科学工業株)
○坂井 雄一 (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)

V. 超小型4サイクルエンジンの開発 (2) グループ

研究担当者 花崎 大 (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)
山岸 英樹 (工業技術センター中央研)
谷野 克巳 (工業技術センター)
☆佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)

VI. 生活習慣病等体質診断用DNAチップの検出精度向上に関する研究（3）グループ

研究担当者 中山 均（コーセル㈱）

碓井 洋平（立山科学工業㈱）

中林 俊幸（東洋化工㈱）

○牧村めぐみ（工業技術センター機械電子研）

横山 義之（工業技術センター中央研）

寺澤 孝志（工業技術センター機械電子研）

清水 孝晃（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）

角崎 雅博（工業技術センター機械電子研）

藤城 敏史（工業技術センター中央研）

☆谷野 克巳（工業技術センター）

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. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発	1
1. 緒 言	1
2. 実験方法	2
3. 実験結果	2
4. 結 言	6
II. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発 (3)	7
1. 緒 言	7
2. DMFC の動作原理	7
3. 実験方法	7
4. 実験結果と考察	9
5. パッシブ型燃料電池セルの試作と評価	11
5. 結 言	12
III. 小径穴加工システムの開発	13
1. 緒 言	13
2. 実験方法	13
3. 実験結果と考察	15
4. 結 言	18
IV. インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究	19
1. 緒 言	19
2. インクジェット法の方式と特徴	19
3. 実験方法	21
4. 実験結果	21
5. 結 言	24

V. 超小型4サイクルエンジンの開発(2)	-----	25
1. 緒言	-----	25
2. 昨年度の成果	-----	25
3. エンジンの設計と製作	-----	26
4. 性能検証	-----	27
5. 結言	-----	30
VI. 生活習慣病等体質診断用DNAチップの検出精度向上に関する研究(3)	----	31
1. 緒言	-----	31
2. DNA診断の概要	-----	32
3. 実験方法	-----	32
4. 実験結果・考察	-----	33
5. 結言	-----	36
○各研究グループの研究風景	-----	付-1
○「若い研究者を育てる会」研究活動の足跡	-----	付-7
○第10回『自作ミニチュアマシン・サッカーゲームコンテスト』の概要	-----	付-17
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付-19
○入会申込書	-----	付-20

I. 薄膜超低温特性抵抗器の開発

Preparation of thin film resistance with Low Temperature Coefficient

桑原 大輔 岩坪 聡 清水 孝晃 丹保 豊和 谷野 克巳
KUWAHARA Daisuke, IWATSUBO Satoshi, SHIMIZU Takaaki, TAMBO Toyokazu, TANINO Katsumi

Abstract

Recent technology, electric devices are required high reliability and preciseness. Especially, it is important to realize low temperature coefficient for resistance under harsh conditions. So far, the resistance is used thick films manufactured by rolling mill process, because a resistivity of thin film strongly depends on temperature. TCR (Temperature Coefficient Resistance) of the film resistance is higher than 20 ppm/K. The factors may be based on film structure and interface between the film and substrates. In this study, to be clear the factors of TCR, the effects of thermal stress and distortion in the film have been investigated. Two different substrates of a thermal expansion coefficient, silica glass and Al_2O_3 , was used. NiCr films were deposited by RF diode sputtering. The thickness t_f dependence of resistivity ρ and TCR was investigated. Their values were estimated using the FEM simulation called MARC. The boundary conditions of NiCr films on their substrates were optimized to fit the models of the NiCr films with the thickness of the order of nm and the substrates of the order of mm. The important result from the simulation indicated that the stress in the films was higher, as the film thickness was thin. So, the effect was serious at t_f below 300 nm. Although both microstructures of the films were completely same, TCR of the films was experimentally different at t_f below 300 nm. The difference of TCR at t_f of 30 nm was up to 20 ppm/K. The tendency of TCR and the stress of Pt and Au films were also almost same. The NiCr-Si films deposited by RF diode sputtering improved the change of TCR. It was found that the value of TCR was susceptible to the stress and distortion of interface between the films and substrates.

1. 緒言

近年、情報通信の発達により電子部品には、より高精度な性能が求められている。その電子部品の一つとして抵抗器は基本的なものであるが、医療機器や精密電子機器、航空、宇宙、あるいは、携帯電話など機能の高度化に伴って、動作環境の厳しい条件での高い信頼性と精度が求められている。その高精度抵抗器に求められる性能としては、抵抗値のばらつきが少ないこと、抵抗の温度係数が0に近いこと、対銅熱起電力が小さいこと、特性の経年変化が小さいことが挙げられる。

一般的に使用される抵抗材料は、金属バルク系で経済性が優先される場合、Fe-Cr、Ni-Cr系材料が用いられている。一方、金属薄膜系では、Ni-Cr、W、Ti系の材料が用いられることが多い。特に、Ni-Cr合金は、電気抵抗が高く、高温での耐酸化性、耐食性、高温強度に優れるが、薄膜に加工した場合、その特性のばらつきは大きく、温度係数(Temperature Coefficient Resistance)を30 ppm以下にすることは、非常に困難であった。そのため実用化されている低温度係数特性抵抗器は金属箔を使用せざるをえない状況である。その抵抗器においては、その作製に圧延工程など多くのプロセスが含まれているために量産性、コストなどに問題があった。さらに、箔であるために高抵抗化や小型化ができない問題があった。

また、その製品でも基板の違いや接着方法によって、TCRが大きく変化することが報告されている。この現象は、TCRの小さな抵抗器を作製する場合、抵抗器本体と基板の熱歪・応力の効果が無視できなくなることを示唆していると考えられる。

一方、薄膜抵抗器では微細構造の変化や粒界での電子散乱、基板と膜表面あるいは膜表面での散乱(サイズ効果)があるため、金属箔に比べて低温度係数特性を持たせることは難しい。そこで本研究では、NiCr系薄膜抵抗器における温度変化の要因を明確にするために、有限要素法シミュレーションを利用し熱歪・応力を見積もるとともに、実験的に膜のTCR特性の膜厚依存性を調べることで、基板との熱歪・応力がTCRに及ぼす影響を明らかにする。さらに、温度センサとしてもよく使用されるPt膜や、表面酸化の影響を無視できるAu膜のTCRについても熱歪・応力の効果を調べ、この効果の妥当性について検討した。

一般に金属抵抗は、図1に示すように低温度での不純物散乱は温度に影響は少ないが、温度Tが上昇するにしたがって、格子振動による電子散乱の効果が強く現れるため抵抗値は $T^{3/2}$ に比例して上がる傾向を示す。一方半導体では、熱によってキャリアが励起されるため温度変化に対して金属とは逆

の特性 ($T^{-3/2}$) を示すことが知られている。そこで、TCR の調整として、半導体である Si を数パーセントドーピングすることで、金属的な傾向を打ち消し、また、Si が不純物として機能する効果を狙い TCR 特性の改善を試みた。

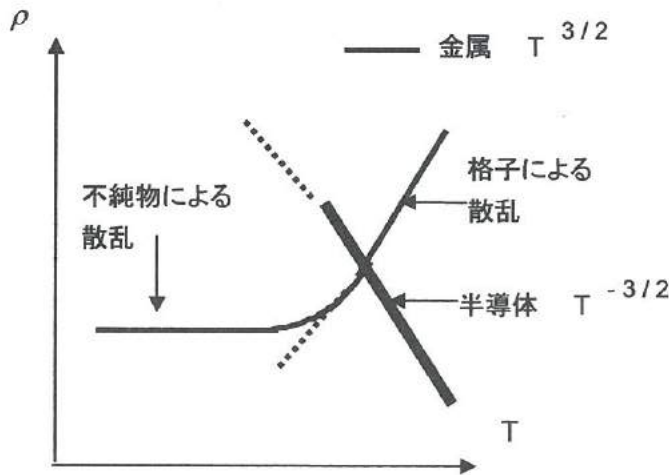


図 1. 抵抗値の温度変化

Fig.1. Temperature dependence of resistivity.

2. 実験方法

RF 2 極マグネトロンスパッタを用いて表 1 に示す条件で NiCr 等の膜を堆積した。膜の構造は、走査型電子顕微鏡 (SEM)、X 線回折 (XRD) を用いて、作製した膜の抵抗率 ρ と TCR は、Van del Pauw 法を用いて、液体窒素温度の 90 K から 400 K の範囲で測定した。

まず、膜と基板の熱歪・応力の効果を調べるために、熱膨張係数の異なる基板の上に膜を堆積させる必要がある。表 2 にいろいろな材料の熱膨張係数を示す。表から分かるように、金属では熱膨張係数が大きい、酸化物になるとその値が急激に小さくなるのが分かる。金属で最も大きな Al など良い候補であるが、NiCr 膜との間に絶縁層を挿入する必要があり、その効果も無視できなくなるため今回は採用しないことにした。そこで本研究では基板として、熱膨張係数が NiCr に近いアルミナと 0 に近い石英ガラスを選び、膜の熱歪・応力の効果を調べた。

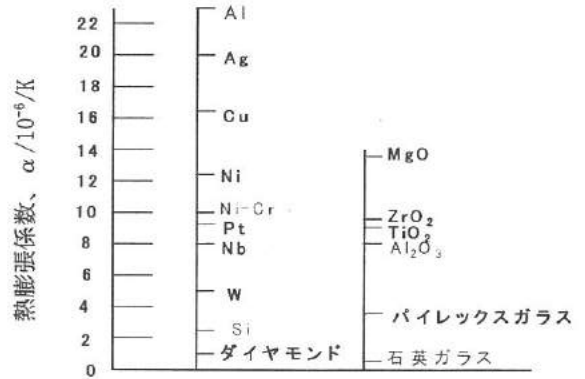
表 1. スパッタ条件

Table 1. Sputtering conditions.

温度	常温
RF パワー	200 W
ターゲット径	$\phi 75$ mm
Ar 流量	30 sccm
Ar 圧	5 mtorr
ターゲット基板間	86 mm

表 2. 熱膨張係数表

Table 2. Thermal expansion coefficient.



ここで、TCR は 1 K あたりの抵抗値の変化を表し、次の式で定義されている。

$$TCR = \frac{R_{High} - R_{Low}}{R_{Low}} \times \frac{1}{T_{High} - T_{Low}} \times 10^6 \text{ (ppm/K)}$$

R_{Low} : 低温における抵抗値、 R_{High} : 高温における抵抗値

T_{Low} : 低温度、 T_{High} : 高温度

3. 実験結果

< 3. 1 > FEM による歪・応力シミュレーション

まず、実用的基板であるアルミナ基板を使用した場合 NiCr 膜 ($NiCr/Al_2O_3$) の応力分布を MARC と呼ばれる有限要素法シミュレーションを使用して求めた。シミュレーションでモデリングを行う場合、基板の厚さは mm オーダーに対して、膜の厚さは nm なので、実際のディメンジョンを用いてモデリングすることは困難である。そこで、実際の状態に近くなるように境界条件を設定することで計算を可能とした。想定している膜厚 t_f は 0~1000 nm の範囲であるため、まず、 t_f が 100 nm と 500 nm の範囲の応力分布を求めることにした。境界条件の設定が悪いと、膜に基板のそりによる引っ張り応力が発生した。その部分の影響を調べるため、 t_f と膜の幅 W_s の変化による応力分布を計算した。このとき現実の膜には、膜作製時に発生する真性応力が存在するが、それは温度変化により変化しないと仮定し、その温度での温度変化による内部応力を 0 とし、その温度から 100 K 温度上昇があった場合の熱応力を求めた。その結果を図 2 に示す。図中、X 方向に膜の幅、Y 方

向に膜の厚みになるようにXY座標を設定してある。この場合の境界条件は、基板は膜に対して十分厚いと考えられるので基板のそりは発生しないため、Y軸の接する部分と、X軸の W_s の一点を拘束した。座標の対称性から応力についてはX方向の成分のみ考察することにし、そのX方向の応力(ρ_x)成分の大きさを色の濃淡で表してある。(a)、(b)は W_s が2000nmの場合、(c)、(d)は W_s が10000nmの場合で、それぞれ t_f が100nmと500nmの結果を示してある。(a)(b)に示すように W_s が小さい場合は、基板のそりの影響が右上に現れ、膜に大きな引っ張り応力が発生していることが分かる。(a)の場合は端から800nm、(b)の場合は、その影響が膜全体にまで及んでいる。同様に(c)の場合は端から800nmの範囲まで、(d)の場合は1600nmの範囲までに及んでいる。以上の結果から、そりの影響を避けるためには W_s は膜厚に対して、約16倍程度あればよいことが分かった。つまり、そりの影響を抑えた境界条件で、Xが0の部分の ρ_x のY方向の分布が膜に働く熱応力の深さ分布と考えられる。

上記考察に基づいて計算したNiCr膜の ρ_x のY方向の分布を図3に示す。Yの値が負の領域が基板、0が基板と膜の界面、正の領域が膜に相当する。また、バイメタル構造の膜の応力は、簡便に次式で求められる。

$$\rho_T = E_f(\alpha_f - \alpha_s) \Delta T$$

E_f : 薄膜のヤング率 , α_f : 薄膜の熱膨張率

α_s : 基板の熱膨張率 , ΔT : 薄膜・基板系の温度上昇

このモデルでは、両方の膜厚が非常に大きい場合を仮定しているために、その値の大きさは小さめに計算される。それに対して、シミュレーションを用いて計算される膜内部の $|\rho_x|$ (ρ_x の絶対値)は t_f が500nm以上と厚い場合は t_f に依存せず、Yが大きくなるにしたがって、徐々に減少する傾向を示し、その漸近線が前述のバイメタル構造のモデルに近くなる傾向を示した。一方、 t_f が50nmと膜が薄い場合には、基板内部の $|\rho_x|$ の値の変化は小さく、膜内部で $|\rho_x|$ は非常に大きくなる傾向を示した。このことは、膜が薄い場合、基板への熱歪の力が働かず、熱歪みが膜のみにかかるようになるために、膜自体に非常に大きな熱歪・応力が発生することを示している。この大きな歪みが、膜の電気的特性である抵抗率に大きな変化を与えていると考えることができる。そしてこの効果は、 t_f が50nm以下で顕著に現れることが明らかになった。

< 3. 2 > NiCr膜の抵抗率とTCR

図4にアルミナ基板上に堆積させた t_f が50nmと500nm

の膜の表面SEM像を示す。 t_f が50nmのときは、まだ、明確な粒界はされないが、 t_f が500nmになると、径が20nm程度の丸い粒界が観察されるようになった。また、そのときの断面SEM像を(c)に示す。膜は、径が20nm程度の柱状構造を示していた。この傾向は、基板の種類によらなかった。この粒界でバルクとは異なる電子散乱が発生している可能性がある。

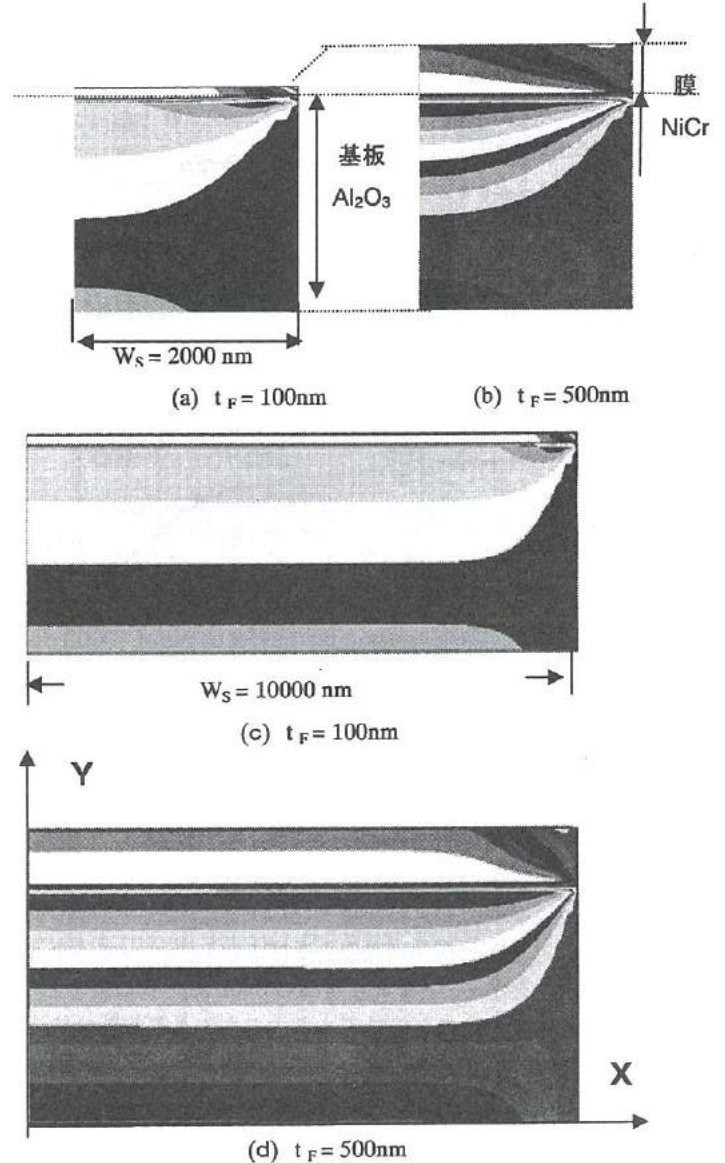


図2. 熱応力分布のシミュレーション結果

Fig.2. Simulation results of thermal stress distribution.

また、XRDの結果からアルミナ基板上に作製されたNiCr膜では、アルミナのピークが多く観察されるが、作製されたNiCr膜はNi(111)とCr(110)ピークが強く現われ、石英ガラス基板

のものと明確な構造変化は確認できなかった。

以上の結果から、石英ガラス基板上に作製された NiCr 膜とアルミナ基板上に作製された NiCr 膜の明確な微細構造変化は無いと考えられる。

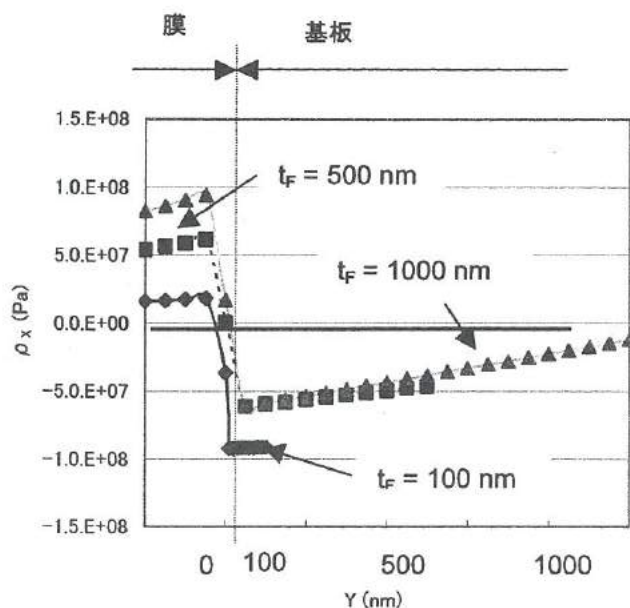


図 3. 熱応力分布 ($W_s = 10000 \text{ nm}$)

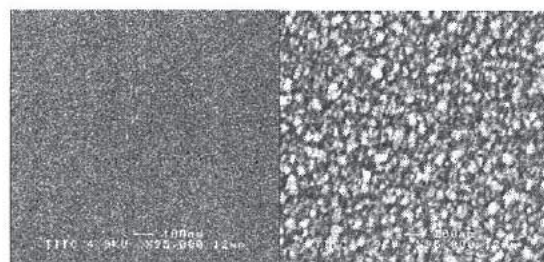
Fig. 3. Thermal stress ρ_x using the model of W_s of 10000 nm

図 5 に抵抗率 ρ の膜厚依存性を示す。バルクの NiCr 合金の抵抗率は約 $100 \mu\Omega\text{cm}$ であるが、その約 2 倍の値を示した。石英ガラス、アルミナとも膜厚が増加するにしたがって ρ が減少する傾向を示した。

図 6 に代表的な t_f が 50nm のときの NiCr 膜の TCR の温度依存性を示す。石英ガラスは温度を上げてほぼ変化が無いのに対して、アルミナの方は温度を上げるにしたがって TCR が増大する傾向を示した。また、常温の 300K あたりの値をとって見ると石英ガラスのものはアルミナのものより TCR は約 30 ppm/K 大きくなった。

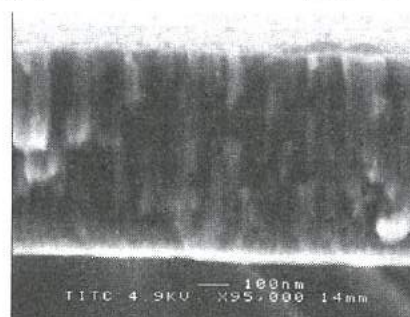
シミュレーションでは温度変化が 100 K のときの熱応力を求めたが実験では、実用的な 220 K~380 K の範囲での 160 K の温度変化のときの $\text{TCR}_{220\text{K}-380\text{K}}$ を考察する。 $\text{TCR}_{220\text{K}-380\text{K}}$ の値は、計算値の 1.6 倍すればよい。図 7 に 220K~380K の範囲で求めた $\text{TCR}_{220\text{K}-380\text{K}}$ の膜厚依存性を示す。 t_f が 300nm 以下で、両者の TCR に変化が発生し、膜厚の薄い部分 50nm 付近ではアルミナの方が 20 ppm ほど小さな値を示した。この違いは、 t_f が薄くなるにしたがって、大きくなる傾向を示していた。この結果は、シミュレーションから求められた膜には圧縮性の応力変化の傾向とも良く合っている。

以上の結果から、膜が薄いときの石英ガラスのものとアルミナのものの TCR の違いは、膜に働く圧縮性の応力・歪の影響であると結論づけられる。



Surface images of NiCr films

(a) $t_f = 50 \text{ nm}$ (b) $t_f = 500 \text{ nm}$



(c) Cross sectional image of NiCr film with t_f of 500 nm

図 4. RF スパッタで形成された NiCr 膜の SEM 写真

Fig. 4. SEM images of NiCr films deposited by RF diode sputtering.

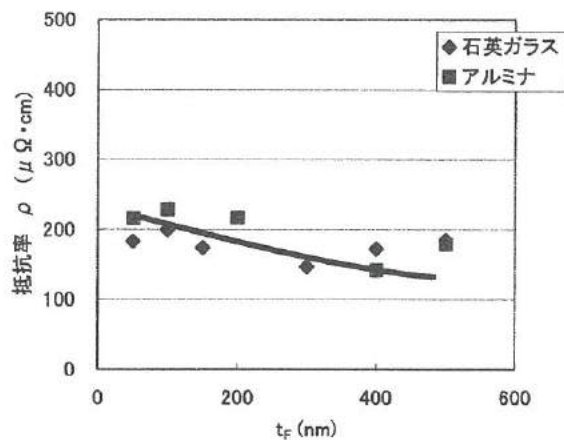


図 5. NiCr 膜の抵抗率 ρ の膜厚依存性

Fig. 5. t_f dependence of ρ of NiCr films.

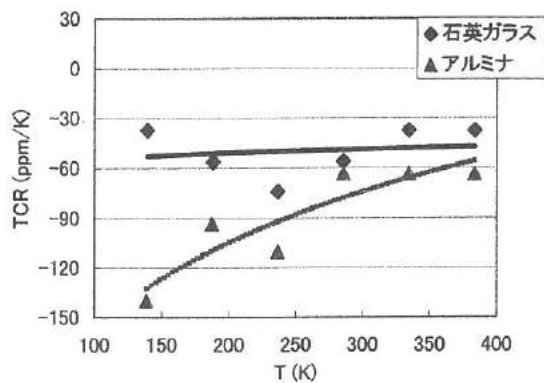


図 6. NiCr 膜の ρ の膜厚依存性

Fig. 6. t_f dependence of ρ of NiCr films.

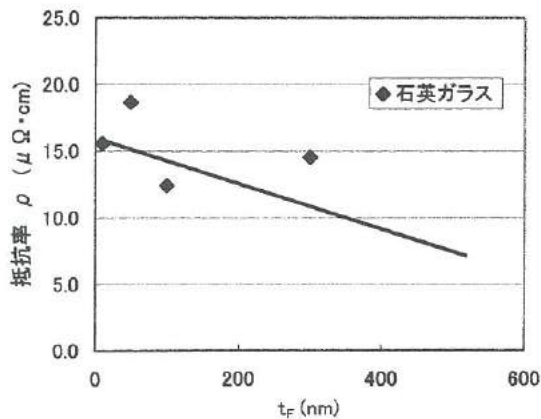


図 8 . Pt 膜の ρ の膜厚依存性

Fig.8. t_f dependence of ρ of Pt films.

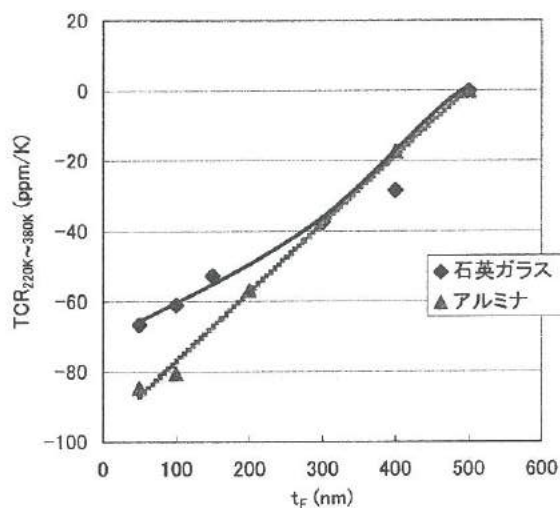


図 7. NiCr 膜の TCR の膜厚依存性

Fig. 7. t_f dependence of TCR of NiCr films deposited on various substrates.

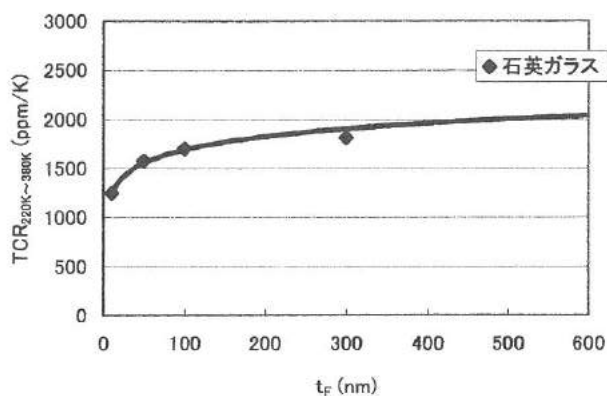


図 9 . Pt 膜の TCR の膜厚依存性

Fig.9. t_f dependence of TCR of Pt films.

< 3 . 3 > Pt, Au 膜の抵抗率と TCR

NiCr 膜においては、膜表面の酸化等の要因によって TCR が変化することが考えられる。そこで、NiCr 以外の金属膜 Pt、Au 膜についても ρ 、TCR を測定した。その結果を図 8、9、10、11 にそれぞれ示す。なお基板は石英ガラスを使った。抵抗率に関しては、NiCr 膜と同様に膜厚が増えると減少する傾向にあった。また、TCR 特性も約 300 nm ぐらいを境に飽和状態に近づくことが確認され、Pt、Au 膜に関しても t_f が約 300 nm までは基板との熱応力・歪みの影響が大きいことが分かった。

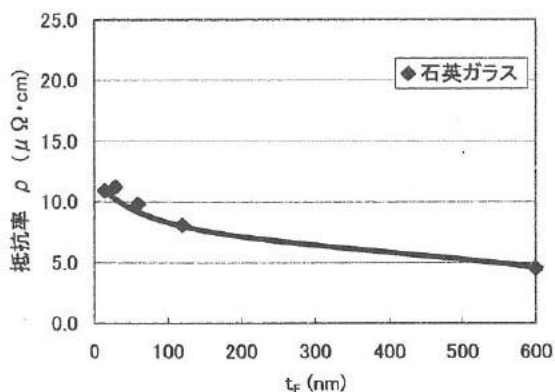


図 10 . Au 膜の ρ の膜厚依存性

Fig.10. t_f dependence of ρ of Au films.

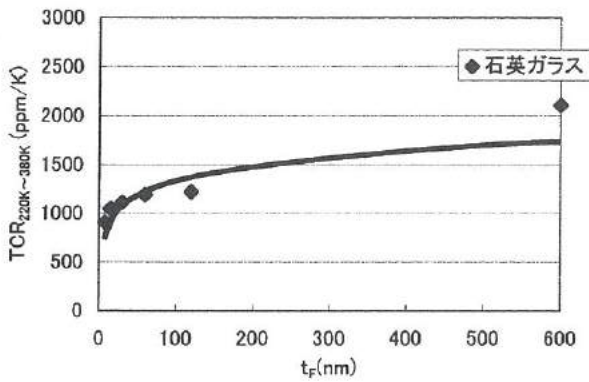


図 11. Au 膜の TCR の膜厚依存性

Fig. 11. t_f dependence of TCR of Au films.

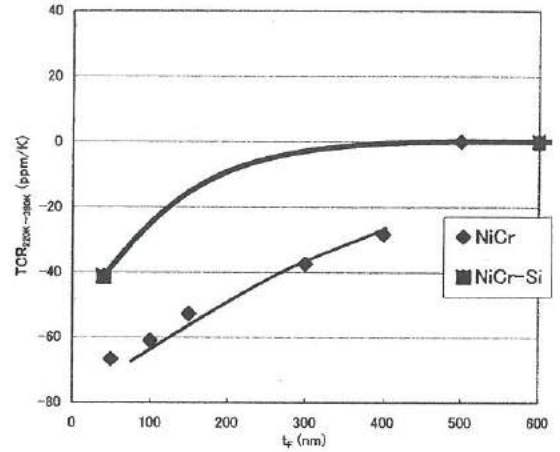


図 13 NiCr、NiCr-Si 膜の TCR の膜厚依存性

Fig. 13. t_f dependence of TCR of of NiCr and NiCr-Si films.

< 3. 4 > NiCr-Si 膜の抵抗率と TCR

次に Si ドープによる NiCr-Si の TCR 特性を測定した。図 12 にあるように ρ に関しては、Si をドープしたのも NiCr も変わらず減少傾向にあり、ほぼ同じ値をとった。一方 TCR に関しては図 13 に示すように NiCr よりも Si をドープすることにより TCR が小さくなり 0 に近づくことが確認できた。

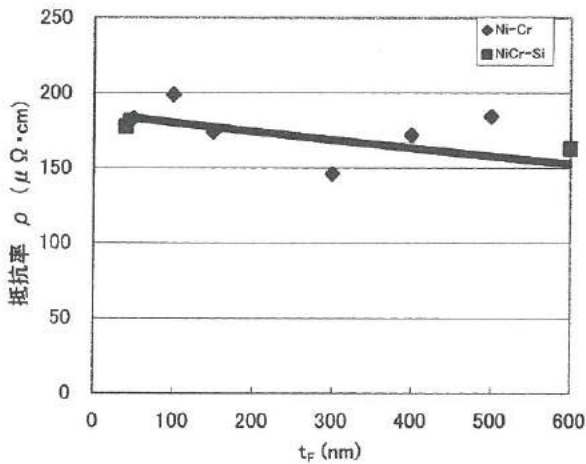


図 12 NiCr、NiCr-Si 膜の ρ の膜厚依存性

Fig. 12. t_f dependence of ρ of NiCr and NiCr-Si films.

4. 結 言

①温度変化による膜と基板との応力分布とその値を明らかにし、基板の熱歪による電気抵抗の変化領域と対応づけた。NiCr 膜は t_f が 300 nm 付近まで応力の影響を受け、膜が薄い程その効果が強く現れ、基板の熱膨張係数の違いにより約 50 nm の膜厚で TCR が 20 ppm/K ほど増加することが分かった。

②NiCr 膜の TCR を改善するためには、Si をドープすることが有効であることが分かった。

③金属抵抗膜 (Pt, Au) についても熱応力が TCR 特性に大きな影響を及ぼすことが確認できた。この知見は、Pt 膜を用いた温度センサなどの高精度化に応用できると考えられる。

実用的には、鏡面の基板ばかり使用することはないので、今後表面のあれた基板での TCR 特性の変化や、パツファ層などの効果についても検討し、低コストな高精度薄膜抵抗器を開発していく予定である。

謝辞

本研究にあたって、薄膜作製と基板について助言を頂いた北陸電気工業(株) 今村 徹治 氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 座間松雄：“金属箔抵抗器およびその製造方法(アルファ・エレクトロニクス)
- (2) 今村徹治、鍋澤浩文、岩坪聡、小幡勤、藤城敏史、丹保豊和：「MEMS を応用した高精度温度センサの開発」2003 年若い研究者を育てる会研究論文集
- (3) 日本学術振興会薄膜第 131 委員会編、薄膜ハンドブック、オーム社

Ⅱ. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(3)

Study of Direct Methanol Fuel Cells Using Polymer Electrolyte (3)

魚谷 一成 石見 雅美 関口 徳朗

UOTANI Kazunari ISHIMI Masami SEKIGUCHI Noriaki

角崎 雅博 谷野 克巳 升方 勝己

KADOSAKI Masahiro TANINO Katsumi MASUGATA Katsumi

Abstract

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". With the advantages in energy density and refueling, DMFC have attracted an interest as a viable power source for portable electronic devices such as laptop computers and cellular phones. The DMFC intended for these applications usually require simple design and passive operation. In this study, our purpose is to assemble the DMFC system which passively operates and to clarify the characteristic of the DMFC system using polymer electrolyte membranes with pore-filling structure.

The outline of the result got in the following is shown. $73\text{mW}/\text{cm}^2$ (at 250mV) was obtained, when 10 mol % methanol aqueous solution was supplied in the MEA using pore-filling electrolyte membranes with ePTFE($25\mu\text{m}$) sheet. In the passive small fuel cell, it is stabilized on an output with the film warm, when the power density is small with $12\text{mW}/\text{cm}^2$. However, the lowering of an output of formed water by the effect was generated, when it consisted for about $40\text{mW}/\text{cm}^2$. Therefore, contrivance of the removal method of formed water is necessary in order to maintain the high power.

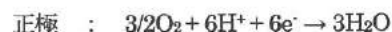
1. 結言

携帯電子機器向けの燃料電池に求められるのは、小型・軽量化・高出力化である。その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。また、小型化の手法としてパッシブ型燃料電池がある。パッシブ型燃料電池とは燃料ポンプや送気ファンなどを使わず、重力や自然対流のみで燃料や空気を供給し、発電するシステムのことで、機器の小型軽量化に適する。パッシブ型システムにおいては、燃料を希釈・循環することなく燃料電池に導入するため、限られた容積で長時間駆動させるためには、MEA(Membrane Electrode Assembly)を高濃度メタノール溶液に対応させる必要がある。

2. DMFCの動作原理

図1に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、 $\text{CH}_3\text{OH} + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ 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、理論的に高い発電効率が得られるDMFCでも、CO被毒(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)やクロスオーバー(メタノールが電解質膜をそのまま透過する現象)が出力低下の問題となっている。

昨年度までクロスオーバーや高濃度メタノール水溶液に対応させるために細孔充填電解質膜を用いたMEAを試作評価してきた。

本年度も引き続き細孔充填電解質膜の膜厚を変化させるなどの各種MEAの試作評価を行った。また、パッシブ型燃料電池セルの試作評価も併せて行った。

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。

燃料電池セルにはメタノール水溶液を $0\sim 1.0\text{cc}/\text{min}$ 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。酸素または空気を $300\text{cc}/\text{min}$ 一定で供給し、それぞれ加圧は行わず大気中に放出した。セルの温度調整は行わず測定は室温($23\sim 25^\circ\text{C}$)で実施した。電極近傍にステンレスシース熱電対($\phi 0.3\text{mm}$, K-type)を挟み込み、電極の温度変化も

併せて計測した。

< 3. 2 > 細孔充填電解質膜

昨年までメタノールによる電解質膜の膨潤を抑制しクロスオーバーを減少させるため、PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene)の多孔体を骨格として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、評価してきた。図2に細孔充填電解膜の概念図を示す。

本年度も引き続き、多孔膜としてPTFE多孔質膜(孔径 $0.2\mu\text{m}$, 膜厚 25 および $80\mu\text{m}$, 空孔率 80%)を用いるとともに、宇部興産㈱製ポリイミド多孔質膜(UPILEX-PT, 膜厚 $27\mu\text{m}$, 空孔率 50%)を用い、膜の径 35.8mm (面積 10cm^2)の部分を実極面として、 $5\text{wt}\%$ ナフィオン117溶液を 1.0cc 含浸させた。

ポリイミド多孔質膜は、図3に示すように裏面に狭窄が観察された。そこで、開口率を上げるため、事前に平行平板型の反応性イオンエッチング装置を用いて取り除いた。エッチングガスとして酸素を用い、高周波電力(13.56MHz)を 20W 、プロセス圧力を 10Pa 、エッチング時間を 2 分として狭窄の除去を行った。ポリイミド多孔質膜を用いた場合、MEA 作製時に膜の変形が少なく作製が容易であった。ただし、電解質含浸時に膜の色調や透明度の変化が目視では観察されず、空隙もなかったため完全に含浸が終了しているか確認できなかった。

< 3. 3 > MEA 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 $5\text{wt}\%$ 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、全体量が 4.5cc になるように1-プロパノールで希釈したもの混合した。

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。

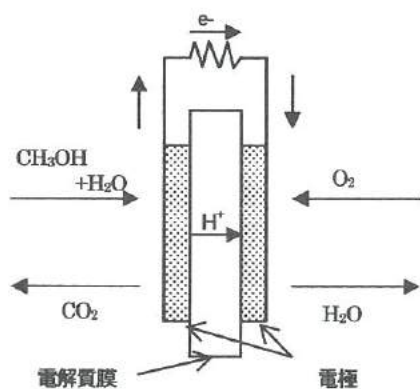


図1 DMFC 概略図

Fig.1. Schematic drawings of DMFC

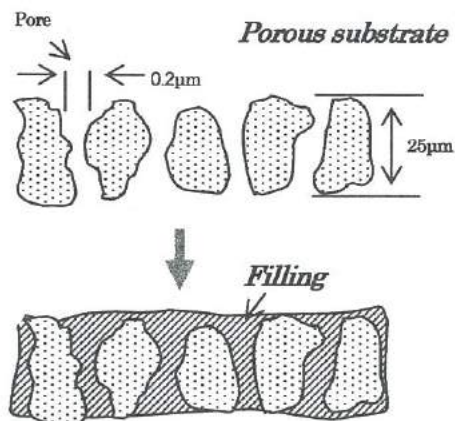


図2 細孔充填電解質膜の概念図

Fig.2. Conceptual scheme of pore filling membrane.

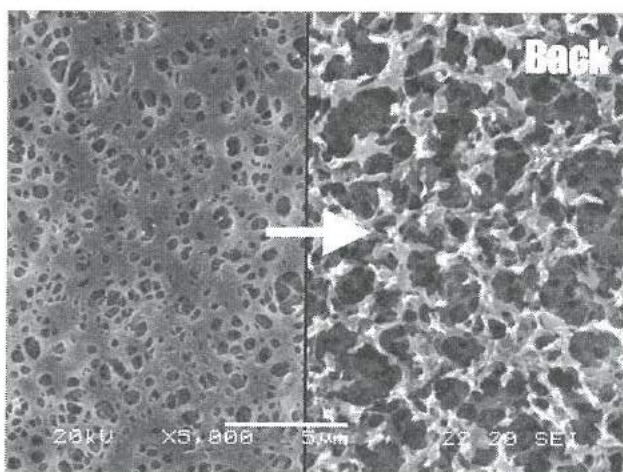
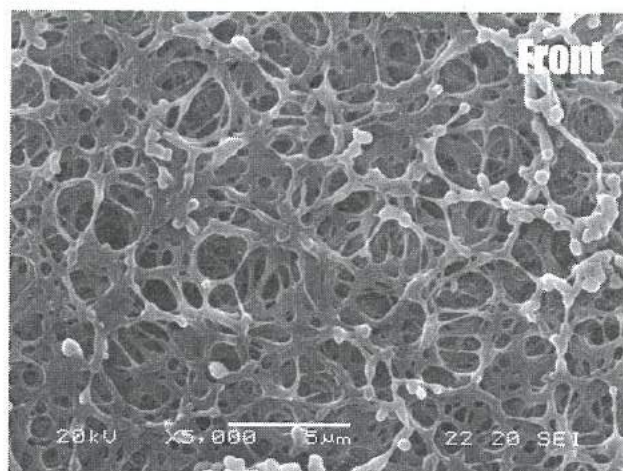


図3 ポリイミド多孔質膜の表面写真

Fig.3. SEM image of porous polyimide film

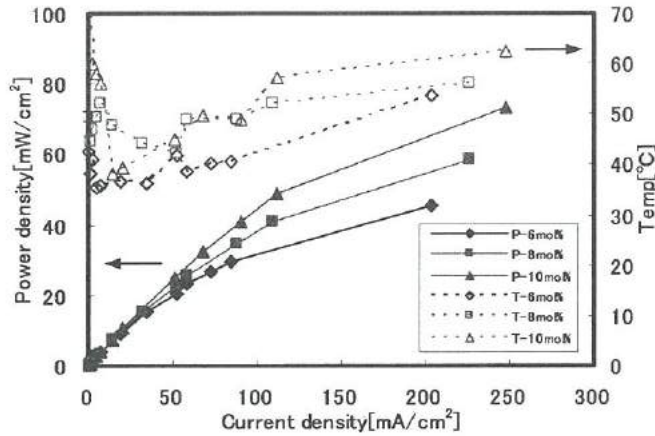


図4 薄膜細孔充填電解質膜による電流密度と出力密度、電極温度
Fig.4. Relationship between current density and power density, electrode temperature by a thin film pore filling electrolyte film.

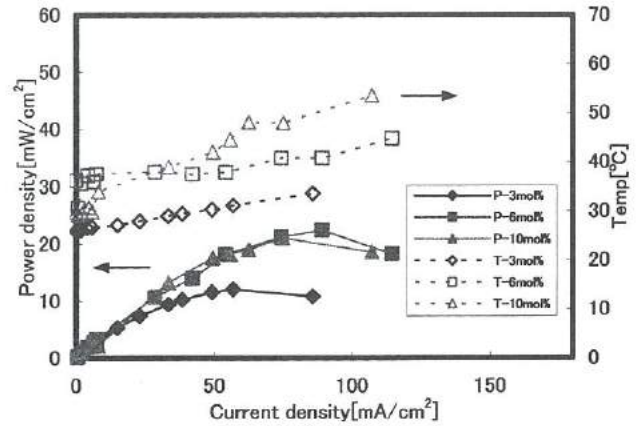


図6 微粒子分散電解質膜による電流密度と出力密度、電極温度
Fig.6. Relationship between current density and power density, electrode temperature by a fine particle dispersion electrolyte film.

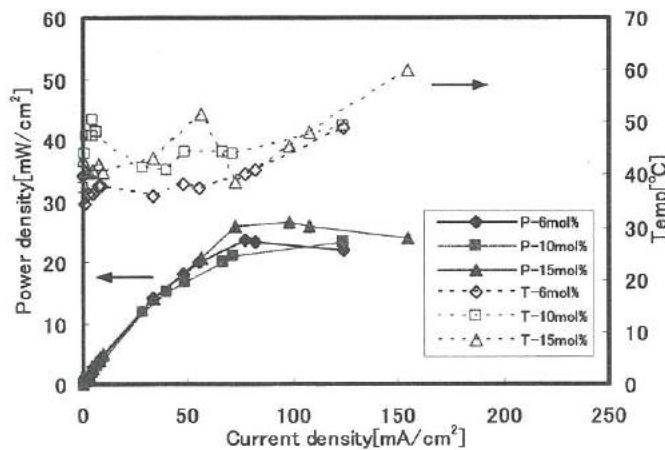


図5 厚膜細孔充填電解質膜による電流密度と出力密度、電極温度
Fig.5. Relationship between current density and power density, electrode temperature by a thick film pore filling electrolyte film.

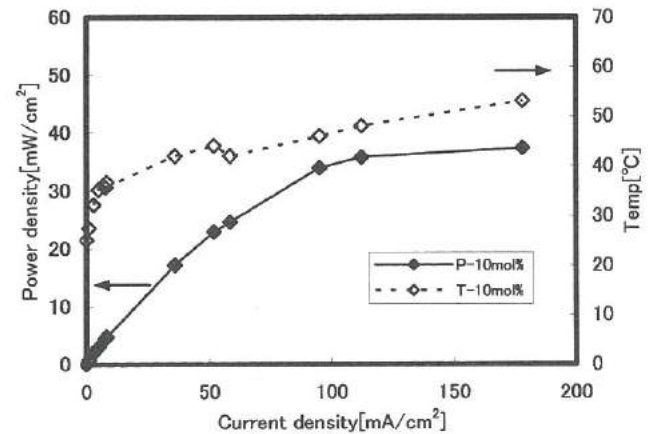


図7 ポリイミド多孔質膜による電流密度と出力密度、電極温度
Fig.7. Relationship between current density and power density, electrode temperature by the polyimide porous film.

触媒量は、アノード、カソードとも同量とし、吹きつけ前後の膜の重量変化より求めた。今回は、いずれの MEA も触媒担持量が $2.5\text{mg}/\text{cm}^2$ となるように作製した。

乾燥後、ホットプレス(140°C、5MPa)を5分間施した。

4. 実験結果と考察

<4. 1> 薄膜(25 μm)電解質膜での出力特性

図4は、膜厚 25 μm の PTFE 多孔質膜を用いた MEA にメタノール水溶液濃度を 6、8、10mol% と変化させて供給させた場合の出力密度と空気極側の温度変化の一例を示す。図より、最大電力密度は 10mol%メタノール水溶液を供給した時に $73\text{mW}/\text{cm}^2$ (at 250mV)が得られ、この時の電極温度は 62°Cであった。また、OCV(Open Circuit Voltage)は 574mV であった。メタノール濃度が高いほど電極温度が上昇する傾向があることが分かった。

なお、無負荷時でも電極温が上昇していることが分かった。

<4. 2> 厚膜(80 μm)電解質膜での出力特性

膜厚 80 μm の電解質膜では、メタノールの拡散抵抗が増大しクロスオーバーの低減が期待できる。この MEA にメタノール水溶液濃度を 6、8、10mol% と変化させて供給させた場合の出力密度と空気極側の温度変化を図 5 に示す。図より最大電力密度は、15mol%メタノール水溶液を供給した時に $26.7\text{mW}/\text{cm}^2$ (at 270mV)が得られた。この時の OCV は 658mV であった。厚膜では 15mol% と比較的高濃度のメタノール水溶液でも出力が得られることが分かった。

<4. 3> 微粒子分散電解質膜の出力特性

メタノールの拡散抵抗を増大させ、クロスオーバーを抑える目的で多孔質膜にイオン導電性樹脂を含浸させる際に無機物微粒子(アエロジェル)10vol%を加えた。4. 1と同条件で、アノードに供給するメタノール水溶液濃度を 8、6、10mol% と変化させた場合の出力密度と空気極側の温度変化を図 6 に示す。図より最大電

力密度は、6mol%メタノール水溶液を供給した時に22.4mW/cm²(at 250mV)が得られた。

<4. 4>ポリイミド多孔質膜での出力特性

図7にポリイミド多孔質膜を用いたMEAに10mol%のメタノール水溶液濃度を供給した場合の出力密度と電極の温度変化を示す。最大電力密度は、73mW/cm²(at 250mV)が得られ、そのときの電極温度は62℃であった。この時のOCVは675mVの高い値を得た。

<4. 5>MEA特性と温度の関係

表1にePTFE多孔質膜(25および80μm)、無機微粒子分散、ポリイミド多孔質膜のそれぞれのOCVと空気側電極温度との関係を示す。表より、OCVは空気側電極温度が低い場合に高くなる傾向がある。これはクロスオーバーしたメタノールの酸化が関係していると考えられ、温度が高い場合はクロスオーバーが多く、空気極側の触媒で燃焼し電極近傍の酸素が消費されOCVが低くなったことが推察される。

表2に各MEAの最高出力とその時の空気側電極温度との関係を示す。表より最高出力は空気側電極温度が高い場合に大きくなる傾向があることが分かる。また、いずれのMEAも60℃前後まで昇温している。この結果より、DMFCの高出力化にはMEAの自己加熱による電極の温度上昇が必要であると推察される。しかし、昨年セル全体を80℃に昇温した場合にMEAが損傷している現象が観察されていることから、本MEAの取り扱い時には電極温度の制御が重要である。

表1 各種MEAの開放電圧と電極温度

Table.1. Open circuit voltage and electrode temperature of MEA variously.

	開放電圧 [mV]	電極温度 [°C]
ePTFE 25 μm	574	79.9
ePTFE 80 μm	658	37.5
微粒子分散	520	58.0
ポリイミド	675	34.1

表2 各種MEAの電力密度と電極温度(最高出力時)

Table.2. Power density and electrode temperature of MEA variously.

	電力密度 [mW/cm ²]	電極温度 [°C]
ePTFE 25 μm	73.3	62.3
ePTFE 80 μm	23.4	49.3
微粒子分散	18.5	53.5
ポリイミド	37.4	53.1

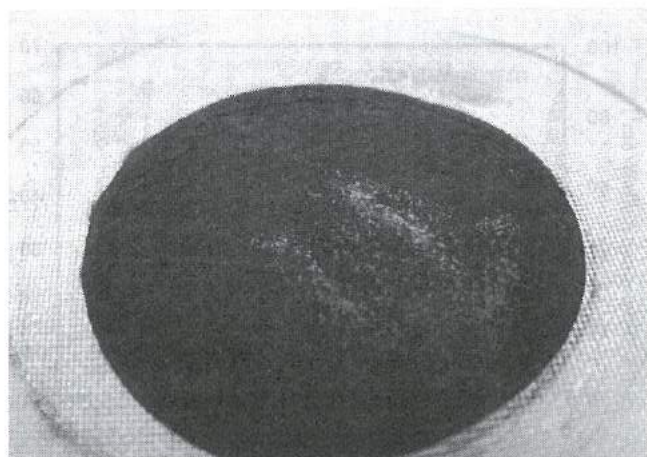


図8 電極析出物の概観とSEM写真

Fig.8. Appearance of electrode and SEM image of the precipitate.

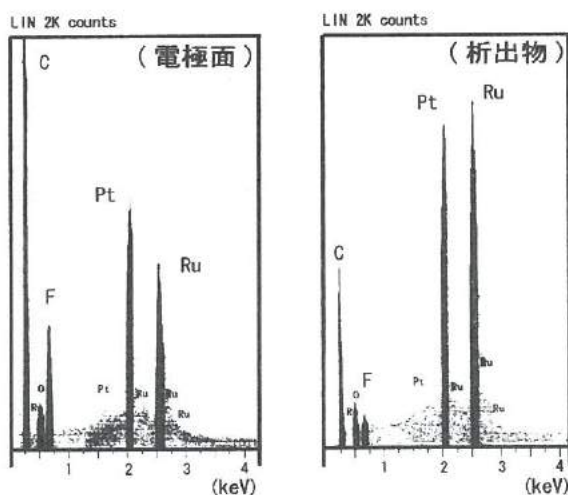


図9 電極面と析出物のEDS分析結果

Fig.9. EDS result of analysis of electrode plane and the precipitate.

< 4. 6 >電極表面の析出物

実験後、MEA 電極表面に図 8 に示すような析出物が観察された。図 9 は、分析チャート EDS(エネルギー分散法)チャートを示す。電極析出物を EDS で分析した結果、析出物からは Pt、Ru の触媒元素が検出され Ru の割合が高い。ZAF 法による Pt と Ru 原子数比は、正常部分が Pt : Ru = 3 : 4、析出部分が Pt : Ru = 1 : 2 と求められ、Ru が優先的に析出していることが分かった。ただし、Ru の析出による特性の変化は観測されなかった。

5. パッシブ型燃料電池セルの試作と評価

パッシブ型燃料電池セルとは、燃料ポンプや送気ファンなどを使わず、重力や自然対流のみで燃料や空気を供給して発電するシステムのことで機器の小型、軽量化に適する。しかし、先に述べたように、パッシブ型システムで長時間駆動させる場合、MEA は高いメタノール濃度の燃料に対応する必要がある。

< 5. 1 >セル構造

試作したパッシブ型 DMFC セルの構造図を図 10 に示す。試作したセルは、これまで評価してきた MEA を使用した。両電極をカーボンフェルトで挟み、ステンレスのパンチングメタルで抑えて集電している。燃料のメタノール水溶液と空気は、パンチングメタルとカーボンフェルトを通して電極に供給される。本セルは、燃料のメタノール水溶液を約 15cm³ 入れることができる。なお、MEA の両電極の温度変化はステンレスシース熱電対(φ0.3mm, K-type)をフェルトとの間に挟み込み、密着させて計測した。

< 5. 2 >動作状況

パッシブ型の出力試験は、6mol%メタノール水溶液を用いて室内(20℃、湿度 30%程度)で行った。試験前に MEA を湿潤させる目的で燃料タンクに蒸留水を満たし、12 時間後メタノール水溶液に入れ替えた。

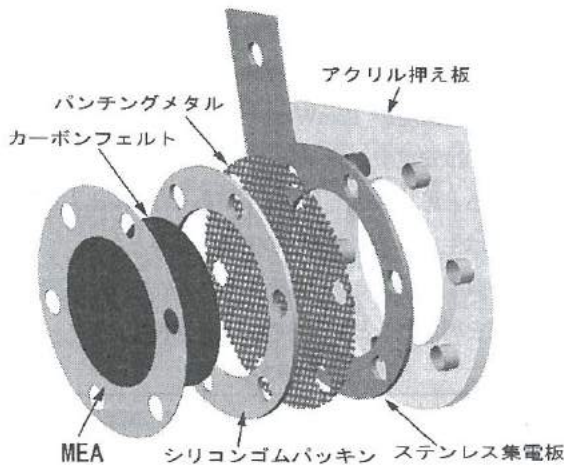


図10 パッシブ型燃料電池セルの構成図(片側)
Fig.10. Composition of fuel cell (One side)

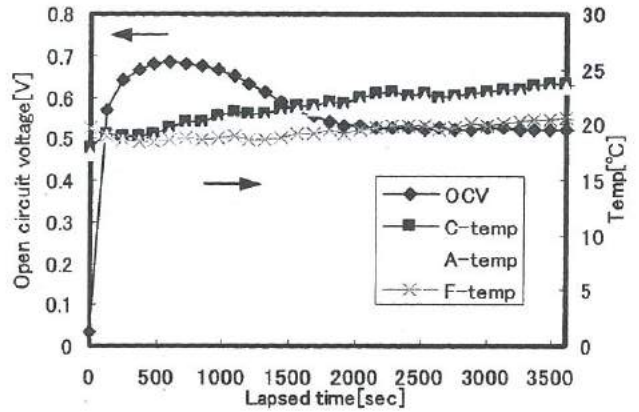


図11 OCVと電極・燃料温度の経時変化
Fig.11. Aging variation of open circuit voltage and electrode temperature.

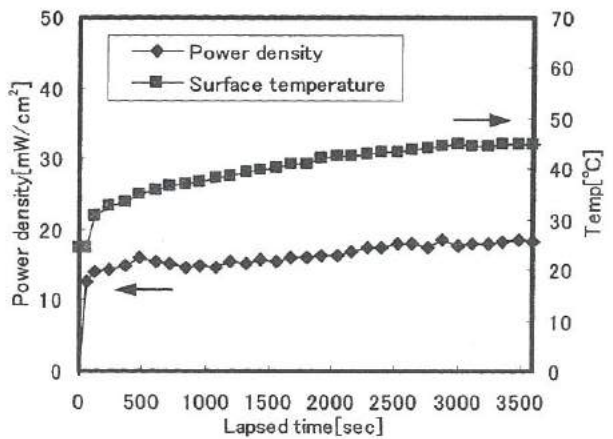


図12 短絡時の電力密度と電極温度の経時変化(室温)
Fig.12. Aging variation after short circuit of power density and electrode temperature (room temperature).

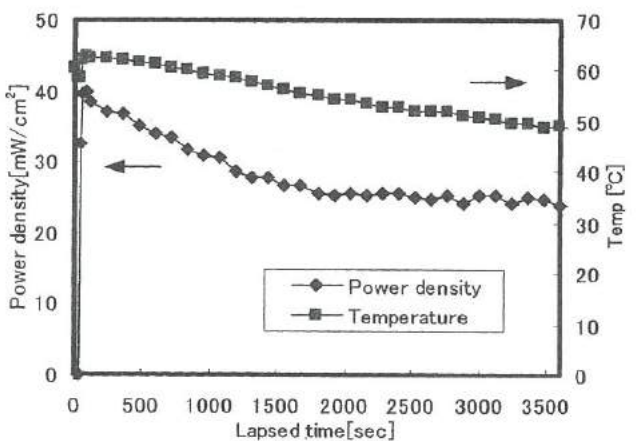


図13 短絡時の電力密度と電極温度の経時変化(60℃加熱後)
Fig.13. Aging variation after short circuit of power density and electrode temperature (after the heating 60 degrees).

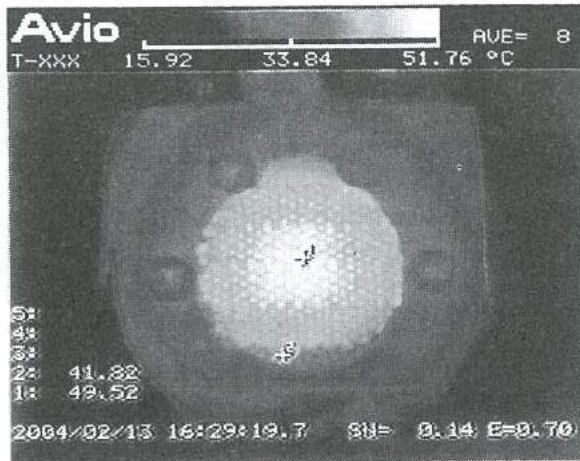


図14 セル表面の温度分布

Fig.14. Temperature distribution of cell surface by the thermal image equipment.

図11は、メタノール水溶液を入れた後のOCVおよび空気極側電極(cathode)、燃料極側電極(Anode)、メタノール水溶液(Fuel)の各温度の経時変化を示す。図よりOCVは、燃料供給直後から上昇し始め、約600秒後に最高680mVを示した。その後、緩やかに減少し3600秒後に520mVで安定した。また、両電極と燃料の温度は緩やかに上昇を続け、3600秒後には空気極側電極、燃料極側電極で5°C程度、メタノール水溶液で2°C程度上昇した。

図12は、OCVが安定したところでセル端子を短絡させた時の単位面積あたりの出力と、空気極側電極温度の経時変化の関係を示す。図より短絡直後の出力は、12.7mW/cm²を示し同時に空気極側電極は温度上昇を始める。その後出力、温度とも上昇を続け、3600秒後には単位面積出力は18.9mW/cm²、空気極側電極は45°Cを示した。

本MEAは4.1で述べたように、同濃度のメタノール水溶液を用いた場合、最高出力時に電極温度が約60°Cを示していたことから、本セルの空気極側を温風で60°Cに加熱して出力の経時変化を計測した。図13はその結果を示す。図に示したように、短絡60秒後に前試験の計測値に近い出力39.6mW/cm²を得た。また、電極温度は約90秒後に63°Cまで上昇したが、その後出力、電極温度とも下降し、3600秒後に出力は24.9mW/cm²、電極温度は49°Cとなった。

図14は、電極が最高温度を示した時のセル表面の温度分布を熱画像装置で観察したものである。図より、空気口部分の温度が顕著に上昇しており、空気口中心部では49.5°Cを示した。また、空気口周辺部は41.8°Cを示しており、中心と周辺部では8°C近い温度差が観察された。図15に示すように、試験中に空気側電極の開口部には頻繁に生成水の滲出が観察された。この生成水は空気極側の電極を覆い、ガス交換を阻害し出力の低下の要因になっているものと推測される。

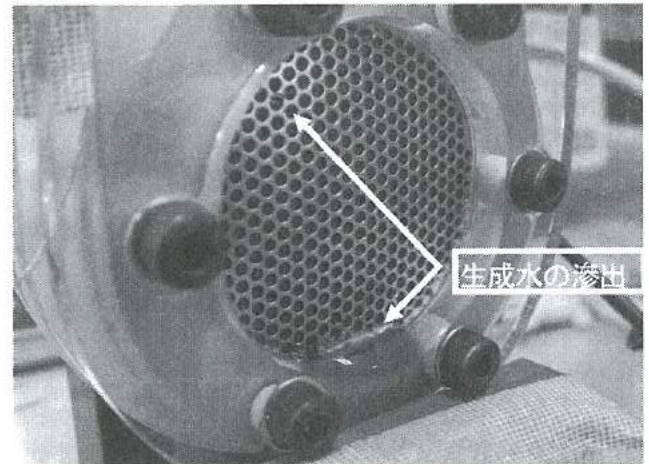


図15 開口部からの生成水の滲出

Fig.15. Effusion of the generation water from the opening.

6. 結言

構成の異なる4種の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。また、パッシブ型セルを試作しその動作について調査したところ、以下の知見が得られた。

- ① 10mol%のメタノール水溶液を供給した場合、無負荷時でもいずれの膜も温度上昇が観察されたが、温度上昇が小さい場合にOCVは高くなる傾向があった。
- ② 各膜とも最高出力を示す状態で空気極側の温度は60°C前後の値を示し、ePTFE(25μm)の電解質膜で10mol%メタノール水溶液を供給した時、73mW/cm²(at 250mV)が得られた。また、膜温も72°Cと最も高くなった。電極の温度が高いほど反応速度が速くなり出力は向上すると考えられる。
- ③ 運転後の電極表面にRuが優先的に析出する現象が観られた。しかし、それによる特性の変化は観察されなかった。
- ④ パッシブ型燃料電池セルを試作し、従来のセルよりも小型化した。出力密度が12mW/cm²と小さい場合は電極温度とともに出力は安定するが、40mW/cm²程度になると生成水の影響によると思われる出力の低下があった。高出力を維持するためには生成水の除去方法の工夫が必要となる。
- ⑤ 電極の温度保持構造や、電極表面温度の均一化等でセル構造に工夫を加えることで出力の向上が期待できる。

参考文献

- (1) 田村英雄、内田裕之、池田宏之助、岩倉千秋、高須芳雄：「固体高分子燃料電池のすべて」2003年
- (2) 関口徳朗、角崎雅博、谷野克巳、稲澤直子、石見雅美、升方勝己：「ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(2)」2003年
若い研究者を育てる会研究論文集

Ⅲ. 小径穴加工システムの開発

Development of a Drilling System for a Small Hole

手嶋 成市 杉森 博 藤井 弘之 藤城 敏史
TESHIMA Seichi SUGIMORI Hiroshi FUJII Hiroyuki FUJIKI Satoshi

Abstract

Small holes are progressively applied in the industrial fields such as the fuel injection nozzle of an engine, die, spinneret, high pressure cleaner nozzle and so on. The small hole was drilled by several methods, including a machine tool and an electric discharge machine (EDM). The drilling of the small hole on the machine tool can't easily be done, because of the insufficient stiffness of a miniature tool. In the small hole drilling process, many problems, such as the breakage of the tool and the deterioration of the location accuracy of the drilled hole, were easily occurred. In this study, the new drilling system has been developed in order to improve the location accuracy of the drilled hole and lengthen the tool life in the drilling process. It is found that the feed with the vibration of 60 Hz frequency causes the decrease of the cutting force and the improvement of the tool life. Experiments show that the change condition of the desired cutting force in the load control, influences the location accuracy of the drilled hole.

1. 緒言

近年、携帯電話やモバイル機器等の小型化、高機能化に伴い、微細加工技術への要求が高まってきている。穴加工の分野においては、ウォータージェットノズル、燃料噴射ノズル、プリント基板等様々な部品に高精度な小径穴加工が必要とされている。従来小径穴は、放電加工（難切削材料の加工が容易な非接触加工）によってあけられるケースが多く、加工後の穴内壁面の表面形状や加工時間の問題があった。一方、小径ドリルによる穴加工は放電加工に比べて工具寸法どおりの加工が可能で、高精度で真円度、表面粗さの良好な高品位な穴を効率良く加工できる。最近、工具性能の向上、コーティング技術の進歩、工作機械の高速化に伴い、従来難しかったドリルによる小径穴加工が可能となり、生産現場においても徐々に導入されてきている。しかし、小径ドリルによる穴加工は工具剛性不足によるドリル折損や切り屑処理、穴位置精度などの問題が依然残っている。

そこで、本研究ではこうした小径穴加工時のトラブルを軽減するために、ドリル加工中の切削力（スラスト荷重）をモニタしながら、その荷重をドリルの送り速度の制御に反映させる小径穴加工システムの開発を行った。さらに本システムは、ドリルの送り方向に微振動を付加することによって切削力を低減させ、それによって工具の長寿命化も図っている。

2. 実験方法

＜2. 1＞システムの構成

図1に開発した小径穴加工システムの外観写真を示す。システムは、小径ドリルを高速回転（1,000～40,000rpm）させる高速スピンドル①、これを試料の深さ方向に移動させる送り機構②、送

④試料ステージ ①高速スピンドル ②送り機構 ⑤ロードセル ③リニアゲージ

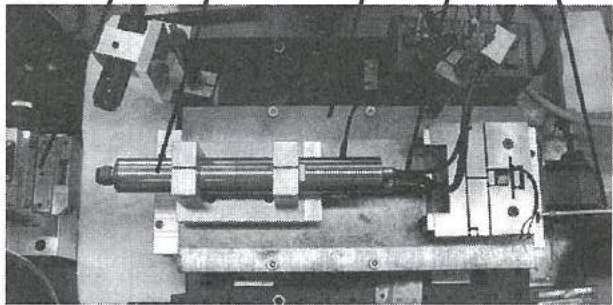


図1 小径穴加工システム

Fig.1 Drilling system for a small hole

り機構の位置を検出するリニアゲージ③、試料をスピンドルの送り方向と直角の2方向に移動させる試料ステージ④で構成した。スピンドルは、移動テーブル上に設置し、ステッピングモータを動力源として試料の深さ方向に送っている。切削中にスピンドルに作用するスラスト方向の荷重（スラスト荷重）をロードセル⑤によって検出している。主軸の送りは、パソコンからDIOボードを経てパルス信号を出力し、さらにシュミット・トリガ回路によって波形整形した後モータドライバへ出力し、ステッピングモータを駆動している。ステッピングモータによって移動する試料ステージは、リニアゲージによって移動量を計測し、その移動量に応じた出力信号をA/D変換ボードを介してパソコン(PC)に取りこんでいる。

図2に振動付加機構の外観写真を示す。振動付加機構は、振動発生源である圧電素子とその振動を一定の倍率で増幅さ

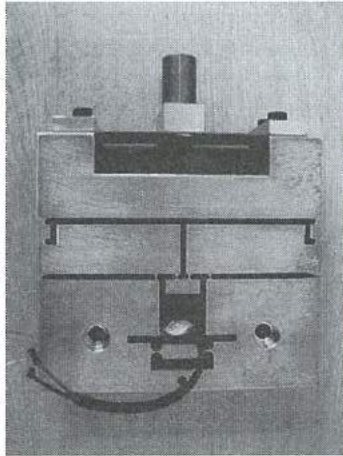


図2 振動付加機構

Fig.2 Top view of exciting apparatus

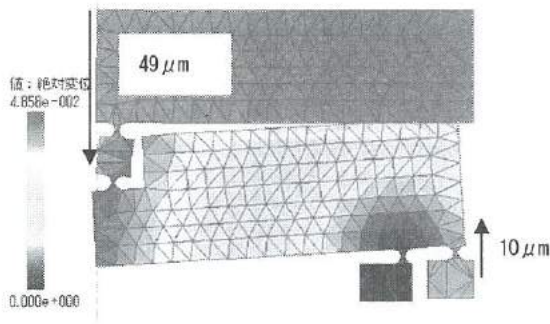
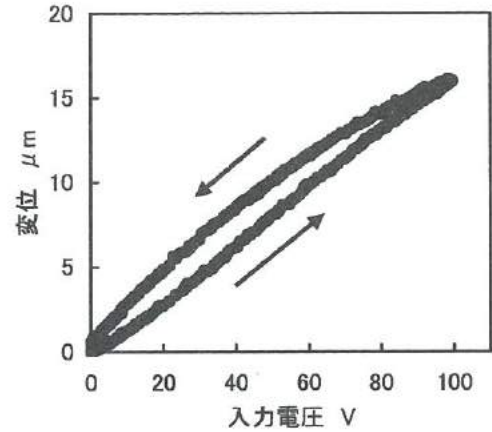


図3 有限要素法による解析結果

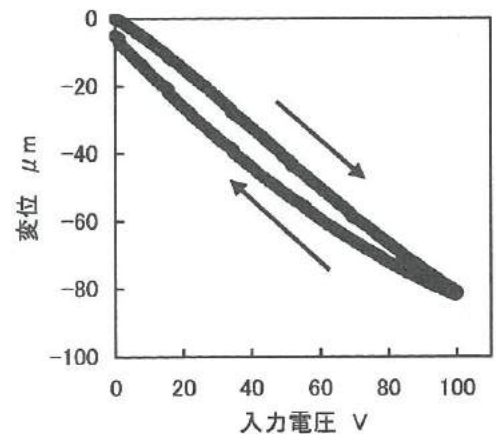
Fig.3 Analysis by Finite Element Method

せる拡大機構で構成した。振動は板バネを介し、スピンドルの送り方向に加えている。このためスピンドルの変位は、加振周波数が系の共振周波数で最大となり、それ以上の周波数では徐々に小さくなることが知られている。そこで、本システムでは、変位の拡大機構を搭載してスピンドル加振に必要な変位量を得ている。

最初に、拡大機構を設計するため有限要素法による二次元弾性問題の解析を行った。圧電素子自身は、変位が $10\sim 15\mu\text{m}$ 程度と小さいため、ここでは拡大率を約5倍として設計した。材料には、高強度で軽量な超々ジュラルミンを採用した。図3に、拡大機構を解析した結果を示す。解析は、モデルの左右対照性を考慮し、左側部分のみで行った。構造は弾性ヒンジを利用したテコ式変位拡大機構であり、圧電素子が伸びると先端が後退する。図4に、試作した拡大機構を実際に動作させた時の入力電圧と変位の関係を示す。図4の(a)に、圧電素子単体の変位特性を、(b)に拡大機構先端の変位特性を示す。図より、拡大機構によって振幅が約5倍に増幅されていることがわかる。実験結果は、有限要素法



(a) 圧電素子の変位特性



(b) 変位拡大機構の変位特性

図4 入力電圧と変位の関係

Fig.4 Characteristics between displacement and applied voltage in the amplifying mechanism

による解析結果とほぼ一致している。

次に、圧電素子に正弦波の電圧を印加して振動付加機構の周波数依存性について実験的に検証した。図5に、周波数と変位の関係を示す。実験は、圧電素子の変位量を一定($10\mu\text{m}$)として周波数を変化させ、周波数 $10\sim 130\text{Hz}$ において拡大機構先端の変位を計測した。変位は、周波数 23Hz 付近に共振周波数を有しており、それより高くなると変位が急減している。さらに、 130Hz 以上になると拡大機構から大きな音が始まり、変位の波形も歪みはじめたので、実験は 130Hz までとした。

< 2. 2 > 制御システムの構成

荷重制御システムの構成を図6に示す。切削加工中のスラスト荷重信号は、A/D変換されてPCに取り込まれる。このスラスト荷重信号には付加振動の周波数成分(AC成分)が含まれており、制

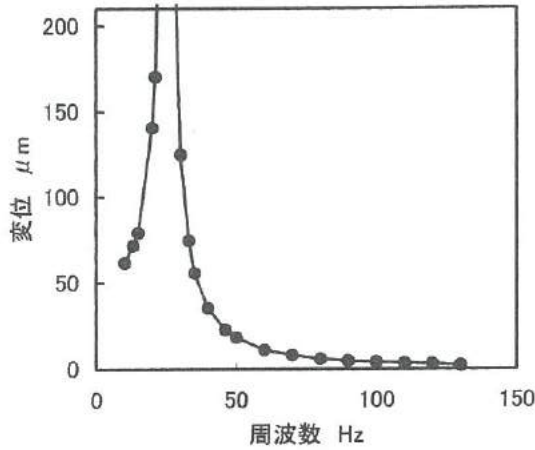


図5 周波数と変位の関係

Fig.5 Characteristics between frequency and displacement in the amplifying mechanism

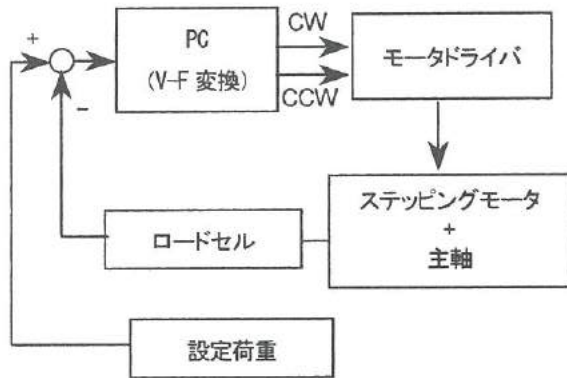


図6 制御系の構成

Fig.6 Block diagram of thrust load control

御に悪影響を及ぼすためバンドエリミネーションフィルタ回路により上記周波数成分を除去した。フィルタ通過後、PCに取り込まれたスラスト荷重と設定荷重の偏差は、PC内でV-F変換され⁽¹⁾パルス列に変換される。この変換されたパルス列を直接モータドライバに出力することによって、ステッピングモータを駆動し、スピンドルを送っている。この制御システムは、パルス列発生用のV-F変換器を制御ループ内に含んでいるため、センサフィードバック型の制御システムを実現している。

3. 実験結果と考察

＜3. 1＞ドリル加工

開発した小径穴加工システムを用いて切削加工実験を行った。試料には厚さ1mmのステンレス鋼板(SUS304)を用い、工具には超硬合金製(株式会社イトウ製作所製ADR-0030)φ0.3mmのルーマ型

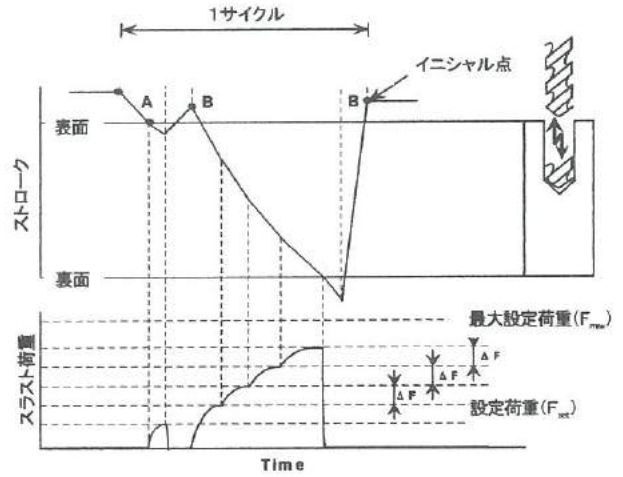


図7 加エプロセス

Fig.7 Drilling process flow

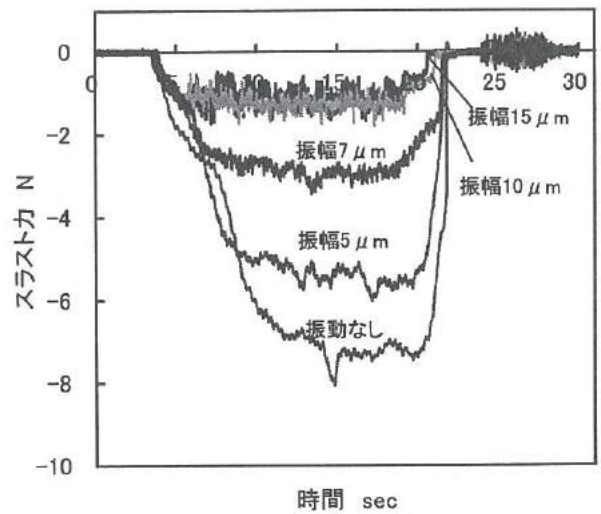


図8 スラスト荷重に及ぼす振幅の影響(周波数60Hz)

Fig.8 Effect of amplitude of added vibration on thrust load

ドリルを用いた。切削雰囲気はドライとし、スピンドルの回転は8,900rpmに固定した。

図7に、本システムの加工プロセスの例を示す。小径ドリルの場合、工具剛性が低いため材料への食いつき時に振れまわりを生じ、穴の曲がりが発生しやすくなる。このため、ドリル先端を試料にある程度押しつけて試料に窪みを形成した後、試料表面に後退する動作(ポンチング動作)を行った。その後の穴加工は、スピンドルの定速送り、もしくは荷重制御によって行った。荷重制御の場合、送り速度を抑えるために設定荷重(目標値)を徐々に増加させた。設定荷重は、あらかじめ設定された加工速度より遅

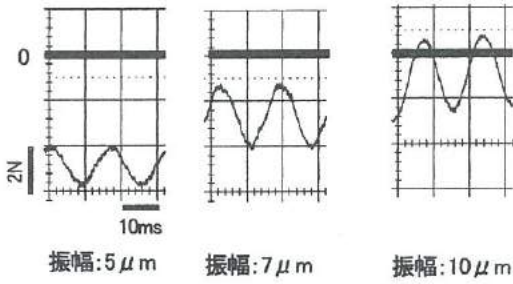


図9 振動付加によるスラスト荷重の変化 (周波数 60Hz)
Fig.9 Effect of added vibration on thrust load.

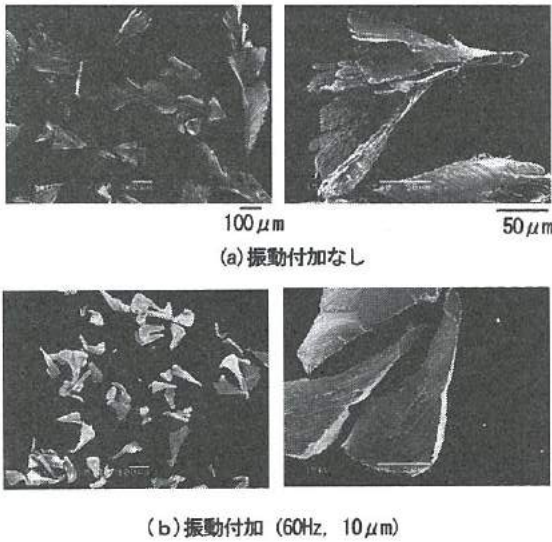


図10 切り粉のSEM写真

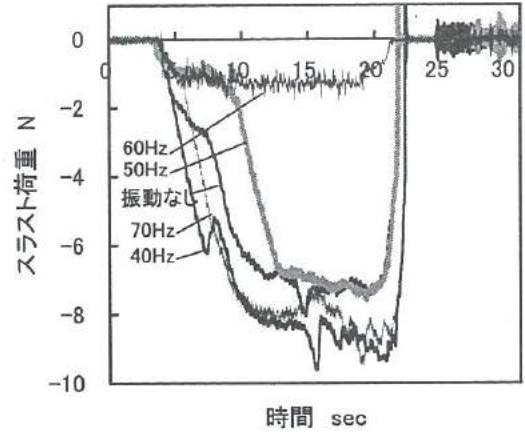
Fig. 10 SEM micrographs of the chip

くなると一定量 ($\angle F$) を増加させた。このサイクルを反復し、切削力が最大設定荷重 (F_{max}) に到達後、所定の時間を経過すると加工を終了し工具寿命とした。

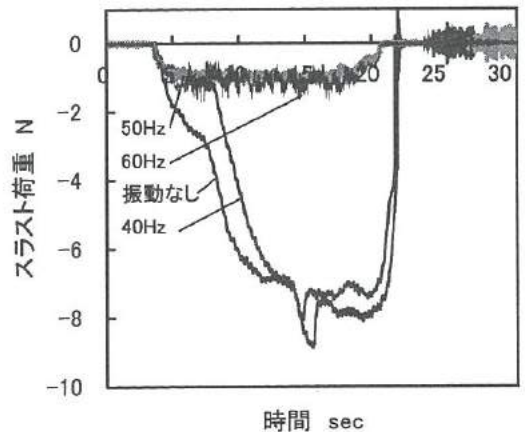
< 3. 2 > 振動付加によるスラスト荷重への影響

(1) 加振振幅による切削中のスラスト荷重への影響

図8に付加振動周波数を60Hzとして、定速送り ($0.9 \mu\text{m}/\text{rev}$) で振幅を変化させた時の加工時間とともに変化するスラスト荷重の測定結果を示す。スピンドルの回転数が8,900rpm (148rps) では、スピンドルが2.5回転する毎に1周期分往復運動することとなる。図8より、振動の付加により加工中のスラスト荷重が低減しているのがわかる。また、スラスト荷重は、振幅を増大すると減少していき、その効果は振幅が $10 \mu\text{m}$ で飽和する傾向が見られた。付加振動周波数を 50Hz に設定した場合にも同様にスラスト荷重低減の傾向が見られ、その効果は振幅約 $13 \mu\text{m}$ で飽和した。加工中のスラスト荷重を詳細に解析するために、スラスト荷重信号をオシロスコープで測定した結果を図9に示す。振幅が増すにつれて、加振力 (AC成分) も増加しそれに伴ってスラスト荷重 (DC



(a) 振幅: $10 \mu\text{m}$



(b) 振幅: $15 \mu\text{m}$

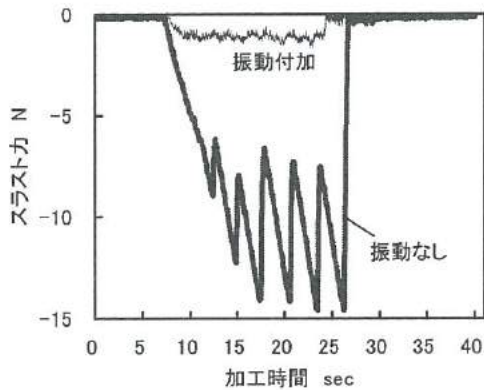
図11 スラスト荷重に及ぼす周波数の影響

Fig. 11 Effect of the excitation frequency on the thrust load

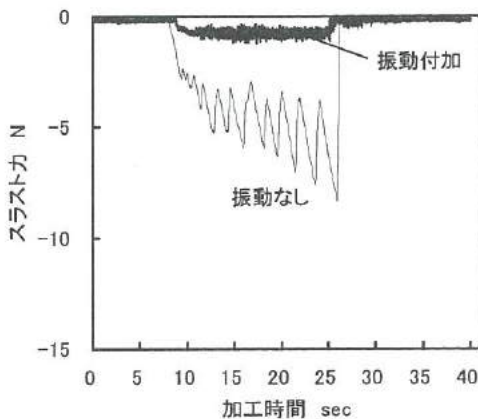
成分) が低下している。振動付加により加工中のスラスト荷重が大きく低減する振幅 $10 \mu\text{m}$ の場合には、加工中にスラスト荷重が瞬間的にゼロに戻っていることがわかる。図10に同じ条件で加工した時の切粉の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真を示す。振動を付加しない場合には、切粉の厚みがほぼ一定でカールしているのに対し、振動を付加することにより切粉が扇状に分断され、部位により厚みも異なる傾向が見られた。これらの結果より、振動を付加することで切粉が分断され、切粉の排出効率が向上し、スラスト荷重が低減していると推察される。

(2) 加振周波数によるスラスト荷重への影響

図11に振幅一定として加振周波数を変化させた場合の時間的に変化するスラスト荷重を示す。図11(a)に振幅 $10 \mu\text{m}$ の場合、(b)に振幅 $15 \mu\text{m}$ の場合の荷重の推移を示す。図11(a)より、50Hzの場合、切りこみの浅いところではスラスト荷重が低減している



(a) S50C



(b) SS400

図 12 スラスト荷重に及ぼす被削材の影響

Fig. 12 Influence of drilled materials on the thrust load

が、加工が進み深くなると急増して振動付加の効果がなくなる様子がわかる。これに対して周波数を 60Hz とした場合は、切りこみ深さによらずスラスト荷重が小さくなっているのがわかる。他の周波数ではスラスト荷重が低減する効果は見られなかった。また、図 11 (b) より、50Hz、60Hz の周波数でスラスト荷重の低減が認められた。なお、70Hz では $15\mu\text{m}$ の振幅を発生できなかったの、実験を行っていない。

<3. 3>被削材の種類による切削性能への影響

被削材の種類は NAK80 (387HB)、SS400 (112HB)、Al-Mg 系アルミ合金 (58HB)、S50C (187HB) の 4 種類とした。図 12 に示すように SS400、S50C の場合、振動を付加しない場合にはスラスト荷重がジグザグに段階的に上昇する挙動が見られた。板バネによる支持のため、切粉排出の停滞や切削そのものが断続的になされることが原因として考えられる。一方、振動を付加すると (60Hz、 $10\mu\text{m}$) 切粉の排出効率が良くなり、いずれの被削材においても SUS304 と同様にスラスト荷重の低減が認められた。実験に供した材料のうち最も硬い NAK80 の場合、荷重の低減度合いが

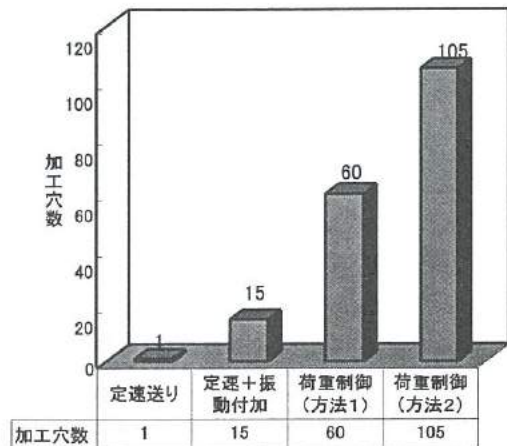


図 13 加工方法による工具寿命への影響

Fig. 13 Influence of the processing methods on the tool life

最も少なかった。

<3. 4>加工方法による工具寿命への影響

(1) 各種加工方法による工具寿命への影響

被削材は、SUS304 を用いて実験した。図 13 にそれぞれの加工方法による工具寿命への影響を示す。定速送り ($0.9\mu\text{m}/\text{rev}$) の場合、スラスト荷重は 8N 以上となり 1 本のドリルで 1 穴しか加工できなかった。振動を付加せず荷重制御で加工した場合には最大設定荷重 (8N) に到達後、所定時間経過しても穴加工できなかったため実験を打ち切った。一方、定速送り ($0.9\mu\text{m}/\text{rev}$) において振動を付加した場合にはスラスト荷重が大きく低減し (約 2N)、穴加工数は 15 穴と向上し、工具の長寿命化が図られた。

(2) 荷重制御による工具寿命への影響

荷重制御方法として目標荷重の初期値 (4N) と最終値 (加工穴数 100 において 8N) を設定し直線的に目標荷重を変化させていく方法 (方法 1) と切削速度をモニタし、設定速度以下にならないように目標荷重を増加させていく方法 (方法 2) の 2 通りを検討した。付加する振動は周波数 60Hz、振幅 $10\mu\text{m}$ で固定した。方法 1 では定速送りに比べ工具の長寿命化が達成されたが、加工穴数の増加にともない加工時間が大幅に延びた (60 穴目における加工時間 180sec/穴)。一方、方法 2 では加工穴数は 105 穴以上 (加工打ち切り) であり、方法 1 よりも工具の長寿命化が達成された。また、60 穴目においても加工時間は 60sec/穴であり、加工能率も改善されることがわかった。

<3. 5>穴位置偏差

前節で荷重制御方法 (方法 2) の工具寿命への効果が認められたので、さらにこの制御方法における設定荷重増加の条件による穴位置偏差への影響について検討した。実験は、付加振動の周波数を 60Hz、振幅 $12\mu\text{m}$ として行った。穴加工は、最大 100 穴加工した時点で打ち切っている。設定速度は、2.4、1.17、0.47mm/min

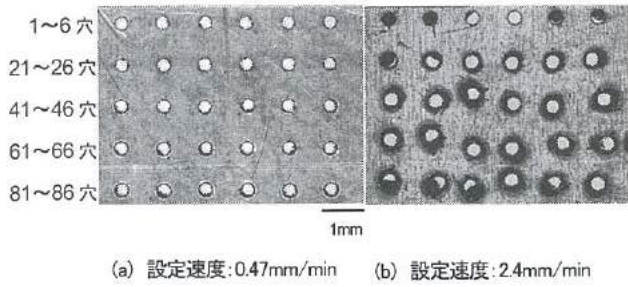


図 14 加工後の穴の光学顕微鏡写真
Fig. 14 Optical micrographs of drilled holes

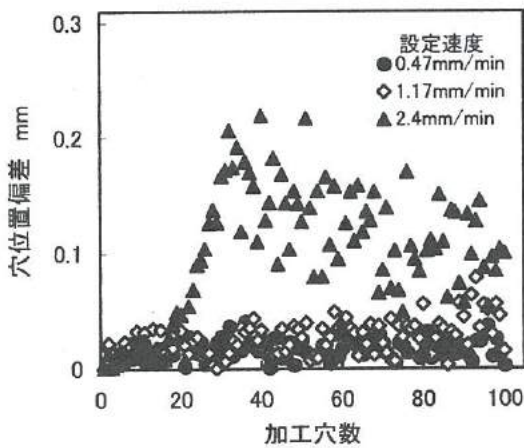


図 15 加工穴数と穴位置偏差の関係
Fig. 15 Influence of the numbers of drilled holes on the hole position deviations

とした。図 14 に加工後の穴の光学顕微鏡写真を示す。図 14 (a) に、設定速度 0.47mm/min の場合、(b) に 2.4mm/min の場合の加工後の穴の様子を示す。1 列目は 1, 21, 41, 61, 81 番目の穴であり、写真は 1~86 番目の穴の一部を示している。図 14 より設定速度が大きくなると穴位置精度が悪くなる傾向が見られた。定量的に穴位置偏差を評価するため、非接触画像三次元測定機を用いた。図 15 に加工穴数と穴位置偏差の関係を示す。図より設定速度を 2.4mm/min にすると、20 穴あたりで穴位置偏差が急増していることがわかる。

図 16 に加工終了時の切粉と加工後の工具の SEM 写真を示す。設定速度 0.47mm/min の場合には加工初期、加工終了時いずれも切粉の大きさは同程度であり、工具にも目立った損傷、溶着物は確認されなかった。一方、設定速度 2.4mm/min の場合、加工終了時には切粉は非常に細かく分断され、工具にも溶着物が付着していた。工具損傷により切削効率が低下したものと考えられる。

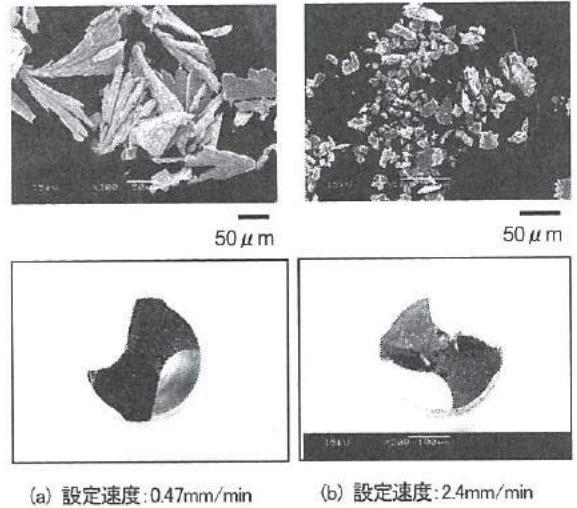


図 16 加工終了時の切粉と工具の SEM 写真
Fig. 16 SEM micrographs of the chip and tool

4. 結言

小径穴加工における工具の長寿命化、加工後の穴位置精度の向上を図るため、振動を付加した荷重制御型小径穴ドリル加工機を開発し、その性能を評価した。その結果、以下の成果が得られた。

- ① 送り方向に振動を付加することで、加工中のスラスト荷重が低減した。また、振幅の増大に伴いスラスト荷重も低減した。
- ② 振動付加によりスラスト荷重が低減する場合、加工中瞬間的にスラスト荷重がゼロになっていた。
- ③ 加工中の切粉を観察すると、振動付加しない場合には厚みが一定で切粉はカールしていたのに対し、振動付加により切粉は分断され部位によって厚みが異なる形状であった。
- ④ 材料の種類によらず振動付加によるスラスト荷重低減が確認された。
- ⑤ 振動を付加し荷重制御加工法を行うことによって工具の長寿命化が達成された。
- ⑥ 設定速度を大きくすると加工数増大に伴い、穴位置偏差が徐々に大きくなった。

参考文献

- (1) 張, 神谷, 関, 正津: 精密工学会誌, 65, 4 (1999)599.

IV. インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究

Study on Fabrication of Electronic Devices by the Ink-Jet Printing

増山 智英
MASUYAMA Tomohide

坂井 雄一
SAKAI Yuichi

二口 友昭
FUTAKUCHI Tomoaki

Abstract

Ink-jet technology is the way to drop a little amount of liquid from a small nozzle. The improvement in the performance of the latest ink-jet printers is considerable. In the industrial world, traditional technologies face a myriad of problems with depletion of natural resources, energy consumption, and environmental impact. The ink-jet technology can be characterized as required resources in the required amount, meaning that this is an environment-friendly technology in terms of resources and energy savings. Recently, ink-jet technology is used for industry, because it has such merits. In this study, we researched the possibility of fabricating electronic devices (especially possibility of printing fine metallic line) by using the ink-jet printer on the market. We printed the ink, which contains about 60wt% nano-sized metal, on substrates by using the multi layered piezoelectric-type inkjet printer, and we fired substrates at 260°C for 20min. Consequently, we obtained the metallic wire that has about 280um-width.

1. 緒言

現在、最も注目されている記録技術の一つにインクジェットプリンティング法があり、画像出力やマーキング用として普及している。インクジェットプリンターの高画質化には目を見張るものがあり、写真に匹敵する画像を一般家庭に居ながら手にすることができる。最近では、産業用での利用が始まっており、有機 EL、有機トランジスタ、PZT 薄膜、Ag 配線などの試作がその例である。インクジェットプリンティングを産業用に用いるメリットとしては、狙った場所に狙った量だけ塗布できることから、材料のロスがなく、廃棄物を減少させることができること、スクリーン印刷のようなマスクは不要で、CAD データを直接描画できること、少ない設備投資とわずかな設置スペースで生産できることなどが挙げられる。

本研究では、現状の画像用インクジェットプリンター及び電子部品材料を用い、電子材料の膜パターンを作製した。

2. インクジェット法の方式と特徴

<2. 1>インクジェット方式と特徴

インクジェットの代表的な方式には、連続的に吐出しているインクを電荷により選択的にサンプルに着弾させるコンティニユアス方式と、選択的にインクを吐出させるドロップオンデマンド

方式がある。

コンティニユアス方式の例としては、アルミ缶などの裏に記されているロットナンバーの印刷などがある。現在ではドロップオンデマンド方式が広く実用化されており、インクを加熱し、発生した泡の圧力によりインクを吐出させるバブル方式と、電圧を印加すると変形するセラミックの圧力によりインクを吐出させるピエゾ方式がある。ピエゾ方式は、インクに熱を加えず、何ら物性的な変化を及ぼさないため、きれいなインク滴を正確に飛ばすことができ、産業用に適している。そこで本研究では、ピエゾ方式を用いるインクジェット法を対象とした。

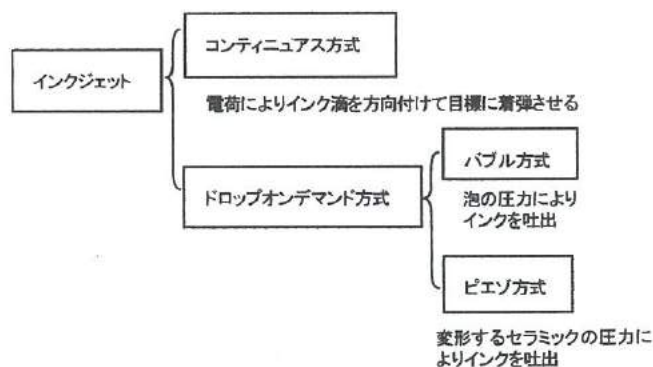


図1 インクジェット方式の種類

Fig.1 Type of the inkjet printer

<2. 2>ピエゾ方式と特徴

ピエゾ方式を用いたインクジェットヘッドには厚膜タイプと積層タイプの2タイプがある。

厚膜タイプは図2のような構造をしている。3枚のセラミックによりインク室、振動板、ノズル連通孔を形成した後、厚膜圧電体と上下電極より構成されるピエゾ素子をアクチュエータとして使用している。このアクチュエータの動作原理は、ピエゾ素子と振動板のバイメタル効果による撓み変形をインクに伝え、ノズルからインク滴の吐出を実現する。このタイプはインク室がアクチュエータの中に組み込まれているために、生産性が高く、安定した品質のヘッドを安価に作る事ができる。

積層タイプは図3のような構造をしており、約20 μm のピエゾレイヤーと電極を交互に積層(図4)した圧電セラミックスをアクチュエータとして使用している。バルク状の積層圧電セラミックスを140 μm ピッチでカットし、各インク室に対応するアクチュエータアレイが作られている。このアクチュエータアレイの作用面は振動板と接合されており、電圧印加により発生する長さ方向の変形で圧力をインクに伝え、インクの吐出を実現する。このタイプはアクチュエータの変形量が大きく、コンパクトなヘッドが実現できる。

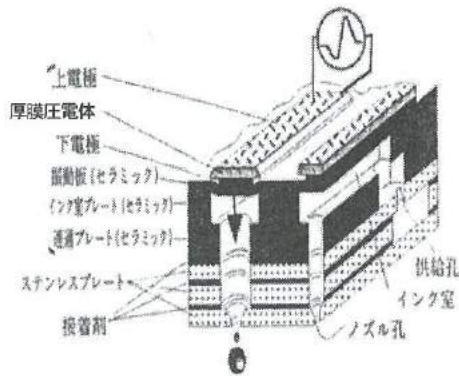


図2 厚膜タイプのヘッドの構造

Fig.2 Schematic of the thick film inkjet head

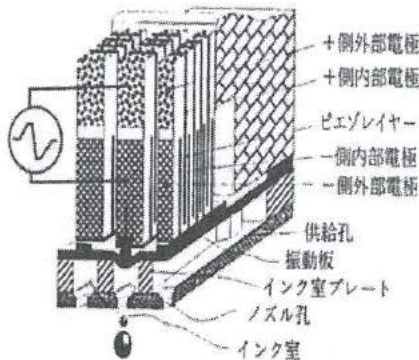


図3 積層タイプのヘッドの構造

Fig.3 Schematic of the multi layered inkjet head

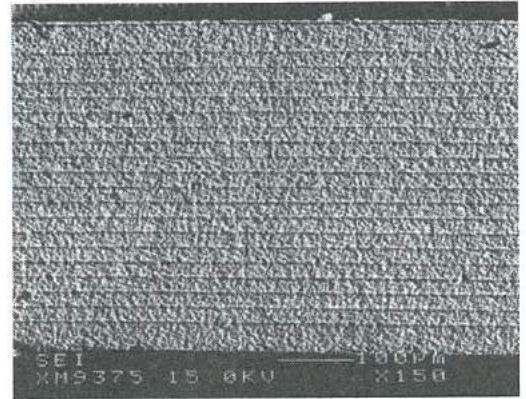
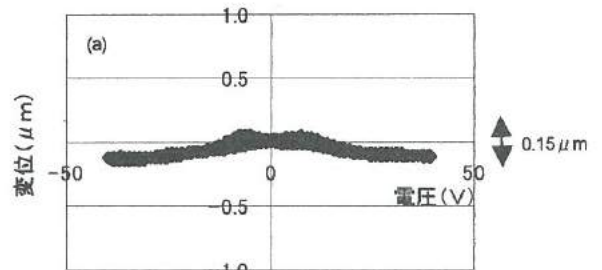


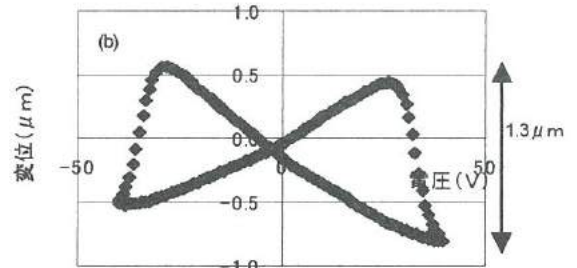
図4 圧電セラミックスのSEM写真

Fig.4 SEM image of the multi layered ceramics

厚膜タイプと積層タイプのヘッドについて40V_{pp}、10Hzの電圧を印加した際の変位を測定した。図5に測定結果を示す。厚膜タイプの変位量は0.15 μm であったのに対し、積層タイプは1.3 μm と厚膜型のものに比べ約10倍変位量が大きいことが確認できた。従って、変位量の大きい積層タイプの方がインク室内の容積変化が大きく、インクが吐出しやすいと推測できる。



(a) 厚膜タイプ



(b) 積層タイプ

図5 インクジェットヘッドの変位量

Fig.5 Displacement of inkjet head (a)thick film type and (b)multi layered type

3. 実験方法

インクジェットプリンターとして、市販の画像用インクジェットプリンターのうち、図6に示す染料系インク用の厚膜タイプ、及び顔料系インク用の積層タイプを使用した。

基板への印刷方法は、CDのラベルを印刷する際に用いる専用のトレイに基板をセットし、インクカートリッジに吐出材料を充填し、長さ3cmの線を描画した。印刷後は、図7に示すように100℃10分乾燥→250℃30分焼成を行い、また、焼成後はテスターにて抵抗値の測定をし、5Ω以下であれば導通ありとした。

印刷パターン作成には、CDラベル作成用ソフトを用いた。線幅は0.05mmから0.1mm間隔で設定可能なものである。



図6 実験に用いた厚膜型インクジェットプリンター

Fig.6 Photograph of the inkjet printer

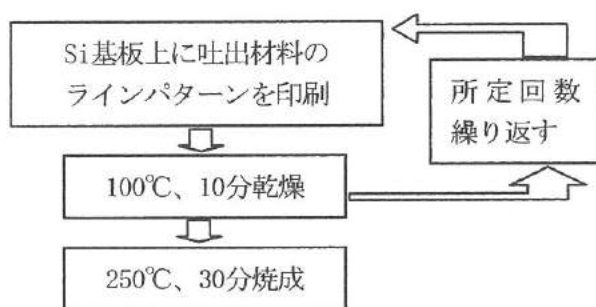


図7 実験のフロー

Fig.7 Process flow for the fabrication

4. 実験結果

<4. 1>画像用インク

現在市販されているインクジェットプリンターの解像度を厚膜タイプを用いて調査した。光沢紙及び普通紙に設定線幅を最小値にして黒の画像用インクを印刷した結果を図8に示す。印刷後の線幅は光沢紙で75μm、普通紙で100μmであった。

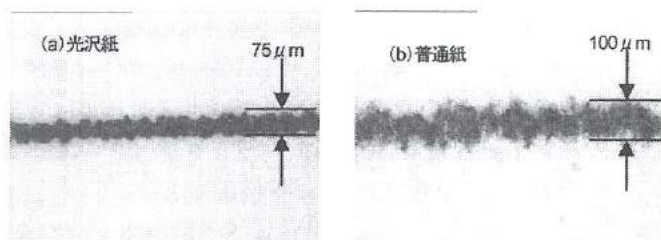


図8 画像用インクの印刷形状

Fig.8 Line pattern of the printed ink for (a) the paper suitable for inkjet and (b) general paper

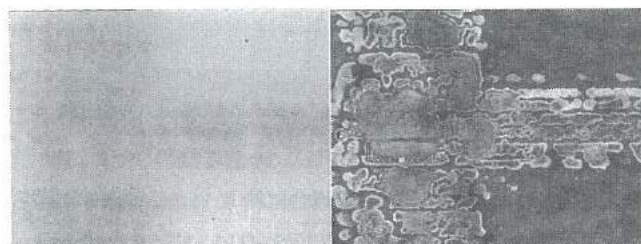
<4. 2>吐出材料の検討

導電材料として、①Auレジネート(有機金属化合物)、②Auフィラー入りペースト、③Agナノ粒子入りインクを用いて吐出テストを行った。Auレジネート、Auフィラー入りペーストはペースト状で原液のままではインクジェットで吐出させるには粘度が高すぎるため2-(2-ブトキシエトキシ)エタノールで20倍に希釈したものを使用した。また、Agナノ粒子入りインクは原液(固形分約60wt%)のままでも画像用インクに近い粘度であったが、プリンター内で詰まるのを防ぐためテトラデカンで希釈し、固形分を10wt%にしたものを使用した。

染料系インク用のプリンター(厚膜タイプ)を用いた吐出テストの結果、Auフィラー入りペーストは吐出しなかった。これは凝集した粒子がメッシュやノズルに詰まったことが原因と思われる。

AuレジネートとAgナノインクは吐出したが、1回の印刷では薄すぎたため、それぞれ16回、20回重ね印刷を行った。いずれのサンプルも焼成後簡易テスターによる測定では導通はなかった。顕微鏡観察すると図9に示すようにパターンのいたる所が途切れており、特にAuレジネートでは色が付いている程度の外観で、厚みもかなり薄いと思われる。

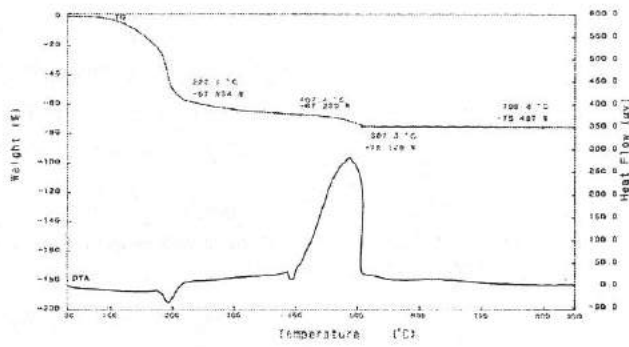
吐出された材料であるAuレジネートとAgナノインクについて固形分を調べるため、熱分析(TG-DTA)を行った。そのチャートを図10に示す。これらより、Auレジネートの固形分は約25wt%であり、希釈後は約1wt%であったことがわかった。また、Agナノインクの固形分は約60wt%であった。



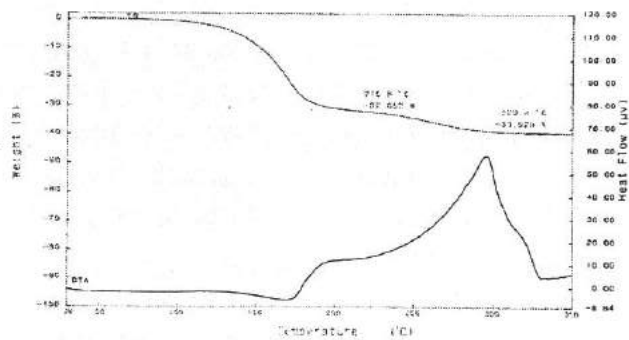
(a)Auレジネート (b)Agナノインク(10wt%)

図9 導電材料の焼成後形状

Fig.9 OEM image of the fired ink (a) Au resinat and (b) Ag nano ink



(b)Ag ナノインクの熱分析結果



(a)Au レジネートの熱分析結果

図 10 TG-DTA 結果

Fig.10 TG-DTA charts of the ink (a) Au resin and (b)Ag

また、実験で得られたサンプルの膜厚は非常に薄く、サンプル毎の印刷回数と焼成後の厚みの関係について調べるため、ヘッドから吐出されるインク 1 滴 (4pl) が基板上で直径 50 μm の円柱状になると仮定し、式 (1) を用いて熱分析から分かった固形分より印刷回数と得られる厚みのシミュレーションを行った。その結果を図 11 に示す。20 倍に希釈した Au レジネートは 1 滴で約 1 nm の厚みとなり、20 回重ね印刷を行っても厚みは 20 nm しか得ることはできない。それに対し、Ag ナノインクは固形分 10wt% のインクを 20 回重ね印刷した場合、0.3 μm の厚みが得られることになる。ちなみに、吐出しなかった 20 倍に希釈した Au フィラー入りペーストを 20 回印刷した場合は約 0.14 μm の厚みが得られることになり Ag ナノインクには及ばない。従って、固形分が多く厚みが得られやすいと思われる Ag ナノインクを用いてインクジェットの出射実験を進めることにした。

$$d = \frac{v_{ink} \cdot \rho_{ink}}{P \cdot \pi r^2} \quad (1)$$

d : 固形分の厚み

v_{ink} : インクの体積

ρ_{ink} : インクの密度

P : 固形分の密度

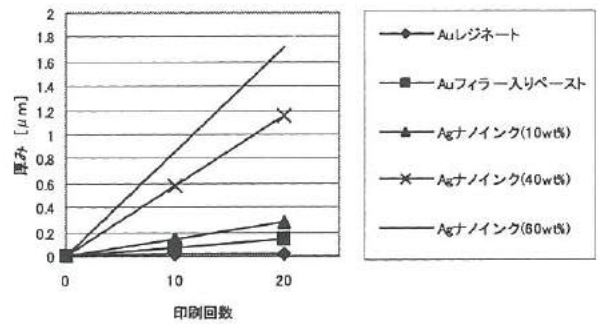


図 11 厚みシミュレーション結果

Fig.11 Simulated thickness of the ink

<4. 3>厚膜タイプと積層タイプのインクジェットプリンターで作製されたパターン形状比較

厚膜タイプのアクチュエータを使用したインクジェットプリンターと、積層タイプのアクチュエータを使用したインクジェットプリンターを用いて印刷テストを行った。また、材料として使用する Ag ナノインクは固形分を 10wt%、40wt%、原液 (60wt%) に調整したものを用いた。

表1 吐出結果

Table1 Result of the test print

	粘度	厚膜タイプ	積層タイプ
固形分 10wt%	2.2mPa·s	○	○
固形分 40wt%	3.4mPa·s	○	○
固形分 60wt%	17.6mPa·s	×	○

Ag ナノインクの粘度及び吐出の結果を表 1 に示す。固形分 10wt%、40wt%の粘度はそれぞれ 2.2、3.4mPa·s とほぼ同等の粘度であるのに対して 60wt%の粘度はそれらより 10mPa·s 以上高い 17.6mPa·s であった。そのうち厚膜タイプでは固形分 10wt%、40wt% のナノインクを吐出させることができたが、60wt%は印刷することができなかつた。これは、粘度が高すぎたためと思われる。

また、固形分 10wt% のインクについて、20 回重ね印刷を行ったが導通しなかった。その膜厚は計測できないほど薄く、パターン全体が斑模様となっており途切れている。固形分 40wt% のインクでは 1、2、4 回重ね印刷を行い、こちらはすべて導通した。膜厚は図 12 に示すように 1、2、4 回印刷それぞれ $0.3\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ となり重ね印刷をした分だけ厚みが得られる結果となった。

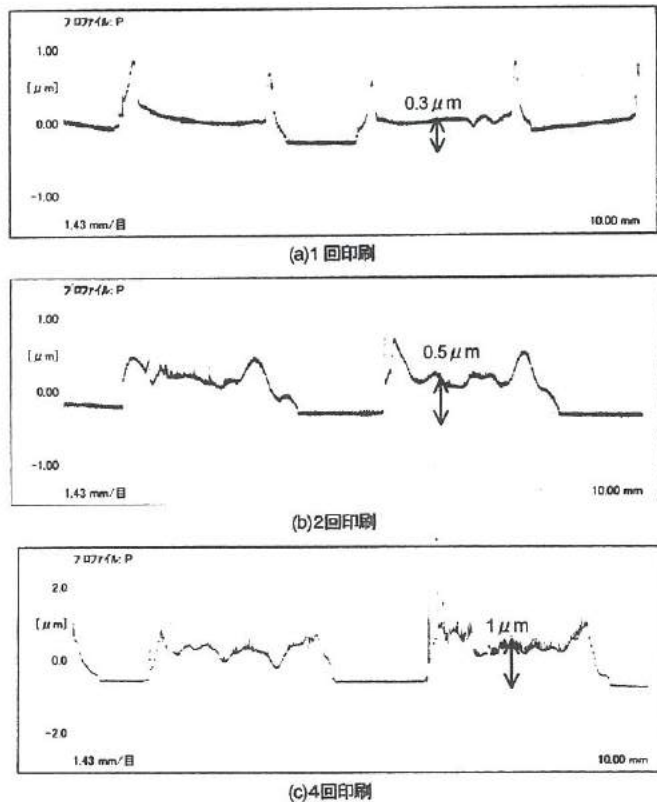


図 12 Ag ナノインク(40wt%)で形成されたパターンの断面
Fig.12 Cross section of the ink printed several times (a)1time
(b)2times (c)4times

4. 4 > 積層タイプでのパターン形状と特性

積層タイプで 40wt% の Ag ナノインクをアルミナ基板とシリコン基板に印刷した形状を図 13、14 に示す。アルミナ基板ではパターンの滲みや飛び散りが大きく輪郭もきれいでなかった。それと比較してシリコン基板のパターンの輪郭ははっきりしていた。

シリコン基板に固形分 40wt% と 60wt% (原液) のナノインクを印刷した場合、40wt% は滲みやはじきが目立っているが、図 15 に示す 60wt% の方は滲みやはじきが小さく輪郭はより直線的できれいであった。図 16 には 60wt% のナノインクで 1 回及び 2 回印刷したときのパターンの断面形状を示す。1 回印刷したとき膜厚は $1\mu\text{m}$ であった。2 回重ね印刷では $2\mu\text{m}$ の厚みが形成され表面の状態は滑らかであった。また、重ね印刷を 3 回以上行くと表面に凹凸ができ印刷回数に従って凹凸は大きくなった。印刷を重ねていくにつれ、凹凸の影響が大きくなってしまふと考えられる。

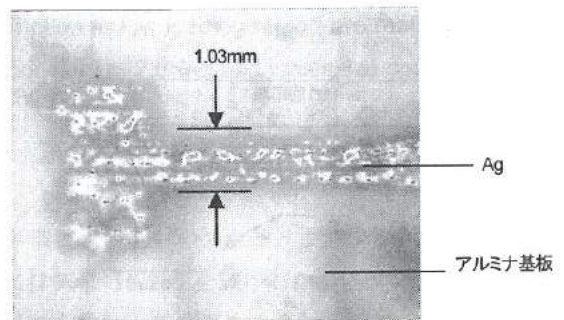


図 13 アルミナ基板でのパターン形状(40wt%)
Fig.13 Line pattern of the Ag nano ink(40wt%) on Al_2O_3 substrate after firing

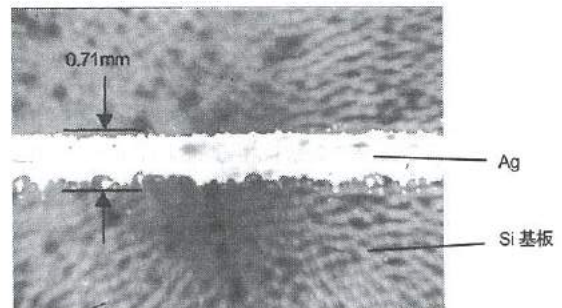


図 14 シリコン基板でのパターン形状 (40wt%)
Fig.14 Line pattern of the Ag nano ink(40wt%) on Si substrate after firing

次に、積層タイプでは固形分 10、40、60wt% のいずれのインクも印刷することができた。

厚膜タイプと積層タイプの吐出安定性については、積層タイプの方が吐出の安定性に優れていた。厚膜タイプは印刷毎に印刷形状が変わりやすく不安定で、印刷と印刷の時間が開くと吐出しなくなるため、こまめなヘッドクリーニングが必要となるという問題があったのに対し、積層タイプの方は連続の印刷においても吐出は安定しており、ほとんどヘッドクリーニングの必要がなかった。これは、 piezoelectric material の変位量が厚膜タイプより 10 倍大きく、インクを押し出す力が強くインクが詰まりにくいと考えられる。

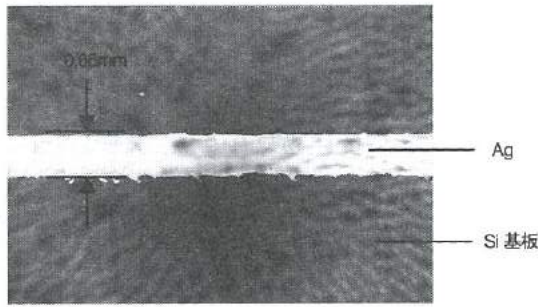


図 15 シリコン基板でのパターン形状(60wt%)

Fig.15 Line pattern of the Ag nano ink(60wt%) on Si substrate

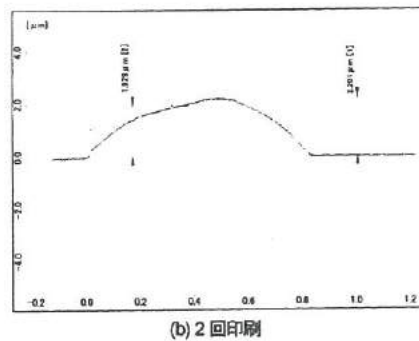
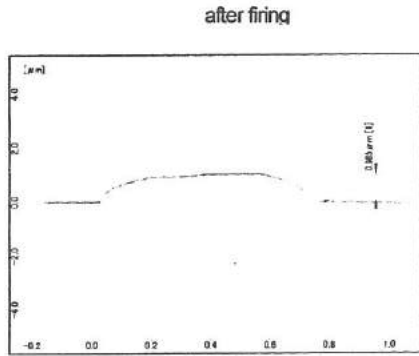
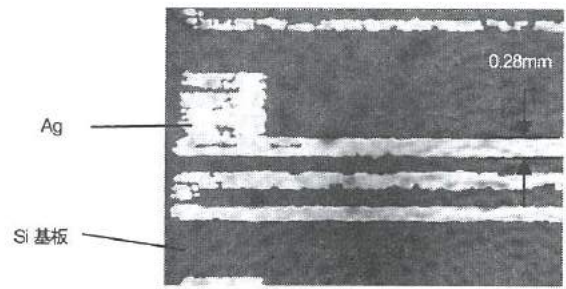


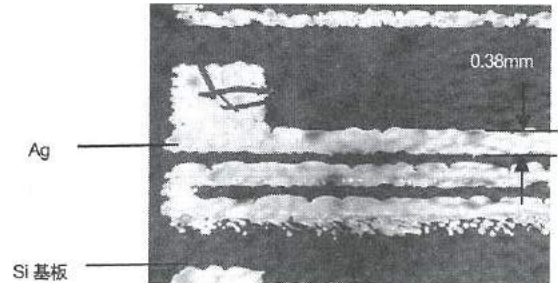
図 16 Ag ナノインク(60wt%)で形成されたパターンの断面

Fig.16 Cross section of the Ag nano ink patterns after firing (a)1time and (b)2times

パターンの細さに関しては、ナノインクの前液で設定幅を 0.05mm にした場合、実際の線幅は約 0.15mm になるが、所々途切れてしまった。設定幅を 0.2mm にすると図 17(a)のように実際の幅は 0.3mm 程度となり 1 回の印刷でパターンはつながった。しかし、プリンターのヘッドが動く方向(横方向)でない縦方向の線を印刷しようとする、横方向にインクが吐出していない所でパターンは途切れてしまった。2 回印刷することで吐出されてなかった場所が埋まり導通するようになるが、繰り返しの位置再現性が良くないため図 17(b)のように位置ずれが起り線幅は広がってしまった。細い線の印刷を行う際には、重ね印刷が望ましくないことがわかった。



(a)1回印刷



(b)2回印刷

図 17 設定幅 0.2mm のパターン形状

Fig.17 Fine line patterns of Ag nano ink (a)1time and (b)2times

5. 結言

本研究では、市販のインクジェットプリンターを用いて電子材料の膜パターン形成、特に導電性の材料を使用した配線描画について検討したところ、以下の結果が得られた。

- ① 厚膜タイプと積層タイプのアクチュエータの変位量を測定した結果、積層タイプのほうが約 10 倍変位量が大きかった。また、積層タイプのインクジェットプリンターのほうがより高い粘度の材料を吐出させることができ、連続印刷の安定性も優れていた。
- ② 導電性材料の Au レジネート、Au フィラー入りペースト、Ag ナノインクのうち、インクジェットで吐出可能で、かつ最も厚みが得られる材料は Ag ナノインクであった。
- ③ 固形分 60wt% の Ag ナノインクでは、1 回の印刷で $1\mu\text{m}$ の厚みを得ることができた。また、2、3 回の重ね印刷ではそれにほぼ比例した厚みが得られた。
- ④ 市販のインクジェットプリンターでは、線幅 0.3mm 程度の配線の印刷は可能であるが、繰り返しの位置再現性が良くないため、細かいパターンの重ね印刷は望ましくなかった。

参考文献

- (1) 碓井稔:「テレビジョン学会誌」, Vol.49, No.7, p853~856(1995)
- (2) 碓井稔:「日本機械学会誌」, Vol.100, No.943, p34~35(1997)
- (3) 北原強:「Japan Hardcopy '99 論文集」, p335~338

V. 超小型 4 サイクルエンジンの開発(2)

Development of a small type four-stroke engine (2)

花崎 大
HANASAKI Dai
山岸 英樹
YAMAGISHI Hideki

清水 孝晃
SIMIZU Takaaki
佐山 利彦
SAYAMA Toshihiko

森本 英樹
MORIMOTO Hideki
谷野 克巳
TANINO Katsumi

Abstract

General-purpose engine is widely used as power equipment of pump, electric generator, lawn mower, and so on. In these fields, it is not efficient to use the engine with high capacity, because the pumping loss increases as the throttle valve is turned down under constant engine speed or constant loading. Additionally, four-stroke engine with clean exhaust has been expected to substitute two-stroke engine for globally increasing environmental concerns. Therefore, we developed a new four-stroke engine with 20cc stroke volume, which has superior performance to commercial engines with small stroke volume. That is, high torque performance and 10% lower fuel consumption in low loading region are realized by means of adjusting inlet valve lift timing, using the valve spring with lower spring constant of 2.6N/m and increasing compression ratio to 11.4.

1. 緒言

汎用エンジンはポンプ、発電器、草刈機等に広く利用されている。汎用エンジンに要求される性能として①低燃費、②小型・軽量、③高出力が挙げられる。さらに、近年の環境問題に対する関心の高まりから、排気ガスの清浄性も加えられる。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。しかし、2サイクルエンジンは未燃焼ガスが多いことによる燃費の悪さや排気ガスの汚さなど問題が多く、現在は、燃料消費量が少ない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）への移行が進んでいる。特に、排気量 50cc 以上のエンジンでは大部分が4サイクルエンジンとなっている。他方、50cc 未満のエンジンでは、現在も2サイクルエンジンが主であり 20cc 以下のエンジンは無い。一方、汎用エンジンの運転のされ方はその用途より、一定回転、一定負荷状態での使用が多い。このような使用状況下で必要以上に大きなエンジンを用いると、スロットルバルブを絞りつづけ運転することになり、ポンピングロスが増大し燃費を悪化させる。

昨年度の研究では、低負荷用 4 サイクルエンジンの開発を

試み、市販エンジンのスケールダウン試験の結果に基づき、新規に排気量 19.2cc を試作したが、エンジンを始動させることができなかった。そこで、今年度は、エンジンサイクルの変更によりシリンダ容量を変更せずに、排気量を小さくしたのと同じ効果がえられるエンジンを開発する。

2. 昨年度の成果

昨年度の研究では、低負荷用エンジンを開発するために排気量の減少という手法をとった。排気量を減少させるために、内径が 39mm で行程が 26mm である市販エンジンの行程を減少させる方法と、内径と行程の両方を変更する方法を試みた。

行程を減少する方法ではクランク軸とコンロッドを変更して行程を 23mm と 20mm に減少させ、排気量を 31.0cc からそれぞれ 27cc と 24cc に減少させた。その結果、27cc に減少させたエンジンでは無負荷最大回転数が 9000rpm から 6000rpm に減少し、排気量の減少量以上に回転数が低下した。24cc に減少させたエンジンではスロットルバルブを開くと停止した。

内径と行程の両方を変更する方法では、シリンダブロックなど変更する部品点数が増えるため、市販エンジンの改造ではなく新規にエンジンを設計し製作した。このエンジンは、内径 29mm、行程 29mm、排気量 19.2cc と設定し、弁駆動方式は吸気弁と排気弁の設計自由度の大きい DOHC とした。しかし、残念ながらエンジンを始動させることができなかった。原因としては潤滑油の供給圧力が高すぎプラグを濡らしてしまったこと、吸気と排気のオーバーラップの大きなバルブタイミングを採用したことにより始動時に十分な混合気が得られなかったこと、およびバルブシールの設計の悪さと工作精度の低さにより燃焼室の密閉性が十分確保されなかったことが挙げられる。

以上より、排気量を小さくして低負荷型エンジンを製作することは困難であり、我々の研究規模から別の方法を考える必要があるという結論に達した。

3. エンジンの設計と製作

< 3. 1 > 設計コンセプト

低負荷用エンジンを開発するため、吸気行程途中で吸気弁を閉じ吸気量を減らすことによりシリンダ容量を変更することなく、排気量の小さなエンジンと等価なエンジンが得られるよう工夫した。これより既存のエンジンのバルブタイミングを変更すること、具体的にはカムを変更することだけでエンジンの実質的な排気量の変更が可能となる。本研究では本田技研工業製汎用エンジン GX22(排気量 22.2cc)を用い、このカムを変更することにより排気量 20cc と等価なエンジンを製作した。

< 3. 2 > 理論的検証

吸気弁を閉じる時期を変更することによるエンジンサイクルへの影響を P-V 線図を用いて検証した。図 1 は(a)元のサイクルの P-V 線図および(b)変更後の P-V 線図を示す。検証では理論的なオットーサイクルを用いており、これは断熱圧縮、定容吸熱、断熱膨張、定容排熱と変化する。変更後のエンジンの弁閉時期は、上死点を 0° とするクランク回転角度で 164° と設定している。164° で弁を閉じた後、下死点の 180° までピストンはシリンダ内の圧力を下げるため仕事をを行う。しかし、この行程は断熱変化と見なせるため、

164° に戻るときに、発生した負圧により引き戻され仕事は相殺されるものと考えられる。下死点での圧力は、0.83 気圧となる。上死点での吸熱量は、元のエンジンで最大圧力が 50 気圧になるものと仮定して設定した。変更したエンジンでは吸入量の減少分により最大圧力が低下し 44.6 気圧となっている。以上の仮定により元にサイクルでの理論効率 η_o は式(1)、開発するサイクルでの理論効率 η_d は式(2)となる¹⁾。
 $\eta_o = 1 - (T_4 - T_1) / (T_3 - T_2) = 0.565 \quad \dots (1)$
 $\eta_d = 1 - (T_4 - T_5) / (T_3 - T_2) = 0.581 \quad \dots (2)$
すなわち、変更後のエンジンの理論効率が約 1.6% 向上することになる。

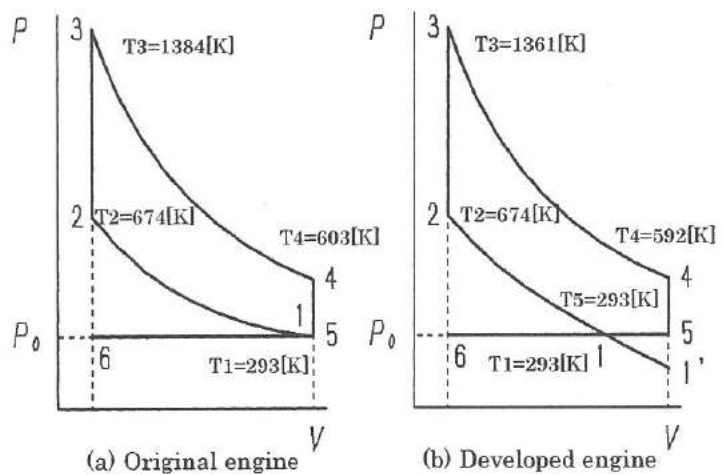


図 1 バルブタイミングの変更に伴う P-V 線図の変化

Fig.1. Pressure and volume diagram change by valve lift timing

< 3. 3 > エンジンの設計

実験に用いたエンジンは、下死点において、排気量分の混合気 22.2cc を吸入するが、排気量 20cc となる行程量で吸気弁を閉じる場合、そのときのクランクシャフトの回転角は 164° となる。実際のエンジンでは混合気の慣性による過給効果を得るため下死点後も吸気弁を開いている。実験で用いたエンジンも下死点後 60° で吸気弁を閉じる設定となっており、この点を起点に弁閉時期を早め 224° で吸気弁を閉じるカムも試作した。吸気弁の閉じ方は、開弁時から閉弁時まで元のエンジンでの弁の閉じ方と相似に開閉するカムと、元のエンジンと同様に開き途中で急激に弁を閉じるカムを試作した。表 1 は、設計したカムの仕様を示す。また、図 2 は吸気弁のリフトカーブを示す。

表1 カムの仕様

Table1. Specifications of fabricated cams

Type	Crank angle [°]	Lift [mm]
C0	240	3.1
C1-a	164	2.4
C1-b	164	3.1
C2-a	224	2.4
C2-b	224	3.1

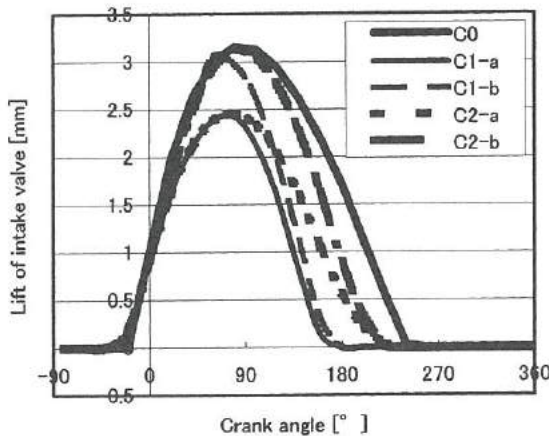


図2 リフト曲線

Fig.2. Intake valve lift curves obtained by fabricated cams

さらに、元になったエンジンでは吸気弁と排気弁の開閉を同一のカムで行っているため変更後のカムではカムを分割し吸気用と排気用に分けた。クランクシャフトと噛み合う歯車に排気用カムを製作し、別途製作した吸気用カムを組み合わせる構造とした。カムを分割したことから、カムに接触するアームの接触面も変更した。

混合気吸入量を減らせばエンジンの最大回転数も低下することが見込まれる。このため弁バネを柔らかくしてバルブ系の共振周波数を下げても弁系にバルブジャンプなど出力を低下させる現象は起こらないものと判断できるので、弁バネのバネ定数を元の 4.0N/mm から 2.6N/mm に変更した。弁バネを柔らかくすることで弁駆動力が低減され、出力と燃費の向上が期待できる。

また、燃焼室は変更していないため、燃焼室容量は同一であり、サイクル変更により混合気の吸入量が減少すれば実質

上圧縮比は減少する。この点を改善するためピストン上部に容積 830mm³ のスペーサーを取り付け、圧縮比を元の 8.0 から 11.4 に向上させた。さらに、実際に排気量の小さいエンジンと比較するために、コンロッドとクランクシャフトも試作してピストンのストローク量を元の 26mm から 23mm に変更した。排気量は 19.6cc となった。

4. 性能検証

< 4. 1 > 測定方法

(1) 動力測定

動力については、電気的な負荷を与え測定した。図3は装置の回路図を示す。エンジンを自動車用オルタネータに接続し発電させ、抵抗を接続し負荷を与えた。動力は全負荷状態で評価した。無負荷でアクセルを全開にして、その時の回転数を測定した後、75W の負荷を加え回転数を測定する。負荷を 75W ずつ増やしエンジンが停止するまで測定した。回転が定常になるということは、エンジンの出力とエンジンにかかる負荷が釣り合った状態である。すなわち、無負荷最大回転数時は自身のメカニカル抵抗と釣り合っている状態であり、負荷をかけた状態では、その最大回転数まで仕事が可能なことを意味する。

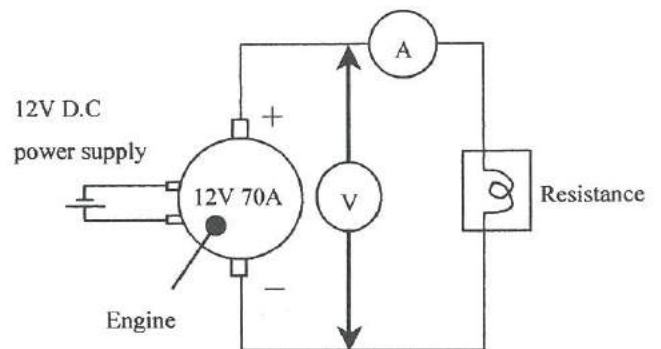


図3 動力測定装置の回路

Fig.3. Circuit of power measurement

(2) 燃費測定

本研究の目的は低負荷において、部分負荷時の燃費を改善することにあるので、部分負荷時の燃費を測定した。測定条件は 6000rpm 時に 75W の負荷状態、150W の負荷状態、225W の負荷状態、5000rpm 時に 75W の負荷状態、4000rpm

時に 75W の負荷状態とし、1 分間に消費する燃料を測定した。エンジンの燃料供給パイプにバルブを設け、燃料タンクから気化器に供給する経路の他にメスピペットから供給する経路を新たに設けて燃費を測定した。

< 4. 2 > 測定結果と考察

(1) カムのみを変更したエンジンとの比較

現行エンジンのカムのみを変更し、動力及び燃費を比較した。図 4 は、動力測定結果を、表 2 は、燃費測定結果を示す。燃費測定は、それぞれの条件での C0 (現行型) の燃料消費量を 1.00 とし、それに対するの相対比較を行った。

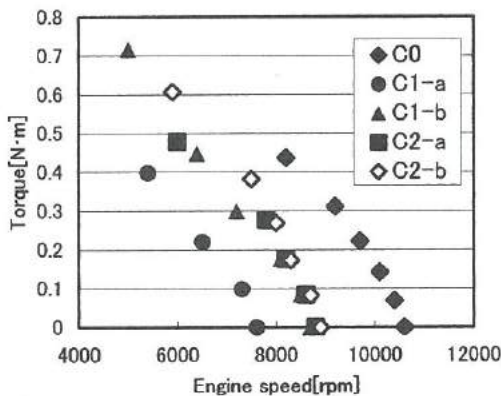


図 4 カムの違いによるエンジンのトルク測定結果

Fig.4. Torque change by cam types

表 2 カムの違いによるエンジンの燃費測定結果

Table2. Fuel consume ratio change by cam types

Engine speed[rpm] Resistance[w]	C0	C1-a	C1-b	C2-a	C2-b
6000- 75	1.00	0.83	0.94	0.94	0.90
6000-150	1.00	0.90	0.98	0.94	0.96
6000-225	1.00	-	0.91	0.91	0.91
5000- 75	1.00	0.70	0.74	0.84	0.77

まず、C0 に対しすべての変更タイプで出力が低下している。これは、吸気バルブを早く閉じるため吸気量が少なくなったからであると考えられる。また、タイプ別に比較すると、リフト量の小さいタイプが大きいタイプに対して、出力が低下している。これは、閉弁のタイミングは変わらないが、弁のリフト量小さくなり、混合気の流れを絞ってしまい、吸気量が少なくなったためであると考えられる。

次に、燃費を比較すると、C0 に対し変更型はすべてのタイプで向上している。これは、出力が低下したため、同じ仕事量ではスロットルバルブの開きが大きくなることや、吸気バルブを速く閉じることによって、吸気の時間が短くなり、ポンピングロスが低減したことが原因であると考えられる。また、弁ばねを押す時間も短くなったため、弁駆動力が小さくて済むことも原因と考えられる。タイプ別に比較すると、C1-a がもっとも燃費が向上している。これは、C1-a の出力が最も小さく、アクセル開度が大きくなったため、他のタイプに比べ、ポンピングロスが低減した影響と考えられる。C1-b、C2-a および C2-b での燃費の差があまり見られないのは、3種類の出力の差が少ないため、アクセル開度がほぼ同じとなり、発生するポンピングロスも同レベルとなったためと考えられる。しかし、この3種類のカムは出力がほぼ同じであるだけで、リフト量やバルブの開いている時間は異なるのに、燃費に差が見られないということは、スロットルバルブがポンピングロスに及ぼす影響に比較して、吸気・排気バルブの抵抗がポンピングロスに及ぼす影響が小さいものと考えられる。

(2) 弁バネを変更したエンジンとの比較

現行エンジンの弁バネのバネ定数を 4.0N/mm から 2.6N/mm に変更し、C0、C1-a および C1-b の動力及び燃費を比較した。図 5 は、動力測定結果を、また表 3 は、燃費測定結果を示す。

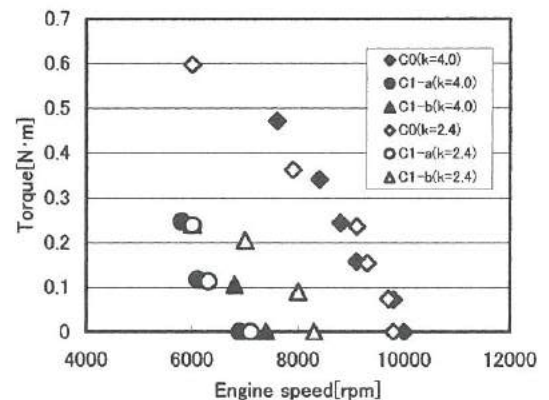


図 5 弁バネの違いによるエンジンのトルク測定結果

Fig.5. Torque change by valve springs

表3 弁バネの違いによるエンジンの燃費測定結果

Table3. Fuel consume ratio change by valve springs

Engine speed[rpm]-Resistance[w]	C0 (k=4.0)	C1-a (k=4.0)	C1-b (k=4.0)	C0 (k=2.4)	C1-a (k=2.4)	C1-b (k=2.4)
6000-75	1.00	0.96	1.02	0.93	1.04	0.96
6000-150	1.00	-	-	0.92	-	-
6000-225	1.00	-	-	0.97	-	-
5000-75	1.00	1.06	1.10	1.10	1.00	1.13
4000-75	1.00	0.80	0.87	0.93	0.90	0.93

まず、出力を比較すると、C0において無負荷での最大回転数は小さくなっている。これは、弁バネをやわらかくすることにより9000rpm以上では、バネの弁に対する追従性が悪くなったためと考えられる。一方、C0以外の回転数は大きくなっている。これは、弁バネをやわらかくすることにより、弁駆動力が低減され、出力向上につながったためと考えられる。また、C1-bはC1-aに比べて回転数の変化量は大きくなっている。これは、C1-bはC1-aよりリフト量が大きいので、その分弁バネを押すための必要な力が大きいので、影響が大きくなったためと考えられる。

次に、燃費を比較すると、C0の燃費は改善されているが、C1-a、C1-bでは変化がみられない。これは、カムとロッカーアームの改造によってメカニカルロスが増加してしまい、弁バネの変化におけるメカニカルロス低減の効果が燃費に現れなかったものと考えられる。

(3) 圧縮比を変更したエンジンとの比較

現行エンジンの圧縮比を8.0から11.4に変更し、C0、C1-a、C1-bの動力及び燃費を比較した。図6は、動力測定結果を、また表4は、燃費測定結果を示す。

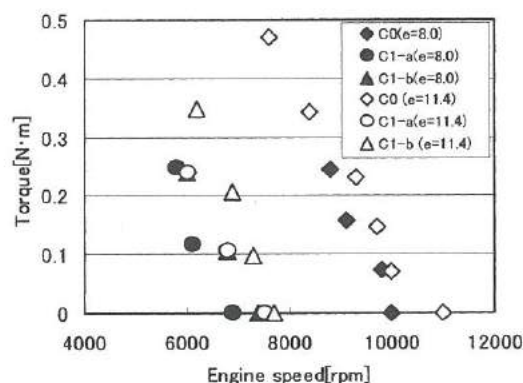


図6 圧縮比の違いによるエンジンのトルク測定結果

Fig.6. Torque change by compression ratios

表4 圧縮比を変更したエンジンの燃費測定結果

Table4. Fuel consume ratio change by compression ratios

Engine speed[rpm]-Resistance[w]	C0 (e=8.0)	C1-a (e=8.0)	C1-b (e=8.0)	C0 (e=11.4)	C1-a (e=11.4)	C1-b (e=11.4)
6000-75	1.00	0.96	1.02	1.04	0.96	1.00
6000-150	1.00	-	-	1.08	0.94	0.90
6000-225	1.00	-	-	0.95	-	0.85
5000-75	1.00	1.06	1.10	1.16	1.10	1.03
4000-75	1.00	0.80	0.87	1.00	0.97	1.00

まず、出力を比較すると、出力は全ての条件で向上している。これは、圧縮比が大きくなることによって熱効率が上がるためと考えられる。また、C0の方がC1-a、C1-bのカムより変化が大きいのは、C1-a、C1-bは低下した圧縮比を元に戻したのに対して、C0は元の圧縮比をさらに大きくしたためであると考えられる。

次に、燃費を比較すると、C0は全般的に悪化するのに対し、C1-a、C1-bでは高負荷側では変化があまり見られず、低負荷側では悪化している。これは、バルブや点火プラグに干渉しないようピストン上部に肉盛を付けたため、燃焼室形状が扁平して、燃焼速度が遅くなってしまい、結果として燃費の悪化につながったものと考えられる。

(4) 小排気量エンジンとの比較

現行エンジンのピストンのストローク量を変更して、排気量を元エンジンの22.2ccから19.6ccとし、C0、C1-a、及びC1-bとの燃費を比較した。変更によって排気量を小さくすると、圧縮比が7.0と小さくなってしまいうため、ピストンに肉盛を付けて、圧縮比を10とした。実際に試作したエンジンを運転させると不安定で、アクセル開度を大きくしたり、負荷を与えると停止してしまっただので、測定条件はアイドリング、3300rpm、3500rpmの無負荷状態で行った。表5は、燃費測定結果を示す。

表5 小排気量エンジンの燃費測定結果

Table5. Fuel consume ratio of the developed engine with small volume

Engine speed[rpm]	C0 (22.2cc)	C0 (19.2cc e=10.0)	C0 (19.2cc e=7.0)	C1-a	C1-b
Idling	1.00	1.07	1.07	0.67	1.13
3300	1.00	1.10	1.40	0.85	1.00
3500	1.00	1.29	1.25	0.75	0.79

燃費を比較すると、小排気量エンジンでは燃費が悪化し、カム変更型エンジンでは燃費が向上した。今回の実験で使用した小排気量のエンジンは、製作したクランク軸の精度が悪く、クランク軸とクランクケースとの軸ずれやシリンダとピストンの軸ずれによる摩擦の増加等が原因で、メカニカルロスが増加したことが影響していると考えられる。

排気量を小さくするためにカム、アームを変更してエンジンを運転させた場合、アクセル全開時や負荷を与えても運転が不安定になることや停止することはなかった。しかし、コンロッド、クランク軸を変更した場合、アクセル開度を大きくするとエンジンが停止してしまうという問題が発生し、改造による行程量変更の難しさが現れた。したがって、変更する部品の点数、組替えの工数、製作の難度からみても、物理的に排気量を変更するよりカムのみを変更するほうが、効率的であることが言える。

(5) エンジン設計方法についての考察

以上の結果より、小排気量エンジンにおける低負荷用エンジンの設計にあたって、以下の指針が導かれた。エンジンサイクルは下死点より手前で吸気弁を閉じることにより、小排気量と同等の効果が得られ、燃費が向上する。バルブリフトはなだらかに開き、最大リフト量は小さく、その後なだらかに閉じるものが燃費を向上させる。また、弁バネは、共振しない範囲でやわらかい弁バネを用いることにより、出力を向上できる。さらに、燃焼室形状の変化を極力抑えて圧縮比を大きくすることにより、出力を向上できる。よって、市販されている最小排気量のエンジンにおいて、バルブタイミング

は、下死点より手前で吸気弁を閉じ、バルブリフト量を 2mm 程度と小さくし、弁バネをやわらかくし、圧縮比を 10 程度に上げたエンジンを設計すればよいと言える。

5. 結 言

本研究では、低負荷用の 4 サイクルエンジンの開発を目的とし、吸気バルブを早く閉じるることによって小さい排気量と同等の 4 サイクルエンジンを試作した。その結果、以下の結果が得られた。

- (1) 吸気バルブを早く閉じることにより、ポンピングロスが低減し、燃費は改善される。
- (2) ポンピングロスは吸気・排気バルブの抵抗よりも、スロットルバルブの抵抗による影響のほうが大きい。
- (3) 弁バネのバネ定数を共振しない範囲で小さく設定することにより、弁バネの駆動力が低減され、出力は向上するが、燃費への影響は少ない。
- (4) 圧縮比を大きくすることにより、燃焼効率が上がり、出力は向上するが、燃費への影響は少ない。
- (5) 燃焼室形状の変化は、燃焼速度を変化させ、燃費に影響する。
- (6) 改造による排気量の変更は、ピストンのストローク量を変更するよりも、カムを変更するほうが効率的である。

参考文献

- 1) 寛安博之：「内燃機関」，(1993)，コロナ社

VI. 生活習慣病等体質診断用 DNA チップの 検出精度向上に関する研究 (3)

The research on detection accuracy improvement of DNA chip for the constitution diagnosis such as the lifestyle habit illness (3)

中山 均 碓井 洋平 中林 俊幸 牧村 めぐみ 横山 義之
NAKAYAMA Hitoshi USUI Youhei NAKABAYASHI Toshiyuki MAKIMURA Megumi YOKOYAMA Yoshiyuki
釣谷 浩之 清水 孝晃 寺澤 孝志 藤城 敏史 角崎 雅博 谷野 克己
TSURITANI Hiroyuki SIMIZU Takaaki TERASAWA Takashi FUJIKI Satoshi KADOSAKI Masahiro TANINO Katsumi

Abstract

Recently, the effective utilization of gene information is examined, because the analysis of the human gene ended. In addition, the relation between pathopoiesis and gene of the lifestyle habit illness (obesity, diabetes mellitus, etc.) is clarified. In this study, for the purpose of developing DNA chip which diagnoses the changeable constitution in the lifestyle habit illness, the DNA which is related first of all to obesity and diabetes mellitus was used as target DNA and probe DNA. Then, electrochemical impedance measurement method for detecting the hybridization of target DNA and probe DNA was established.

The result of this experiment is shown in the following.

- (1) By establishing liquid accumulation cell of the green mask in DNA chip, it was possible that the measured value of the existence of the hybridization of target DNA and probe DNA was stabilized.
- (2) It became possible that by carrying out the hybridization processing in the different container, it improved the hybridization efficiency, and that it detects the existence of the hybridization of perfect coincidence and nonconformity type DNA high-precise.

1. 緒 言

最近、肥満・糖尿病等の生活習慣病の発病と遺伝子の因果関係が指摘されており、自分の遺伝子から体質を事前を知るにより予防できる可能性が示唆されている¹⁾。

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ヌクレオチドが1本鎖状に繋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(以下ハイブリと略す)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、このアミノ酸が繋がってタンパク質が合成され細胞が作られるため、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。

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易さや薬剤の副作用の有無等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易い体質を取り上げ、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として使い、ハイブリ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。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^{2)~9)}。

<2. 2> 肥満・糖尿病に関わる一本鎖オリゴDNA

本研究で使用したDNAは、ヒトの肥満と糖尿病に関わる2種類の1本鎖オリゴDNAである。例えば、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。

表1 肥満・糖尿病に関係した1本鎖オリゴDNAの塩基配列

Table 1. Sequence of obesity and diabetes mellitus

1本鎖DNA		塩基配列
肥満	Trp64	5'-GTGGCCATCGCC T GGACTCCGAGAC
	Arg64	5'-GTGGCCATCGCC C GGACTCCGAGAC
糖尿	Pro12	5'-TCTCCTATTGAC C CAGAAAGCGATT
	Ala12	5'-TCTCCTATTGAC C CAGAAAGCGATT

表1に使用した肥満および糖尿病に関わる1本鎖オリゴDNAの塩基配列の一例を示す。SNP'sの両側に12塩基を付けた25塩基のオリゴDNAを用い、それぞれをTrp64、Arg64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をプローブDNAとした。これらはAuへ固定化するために用い、相補的な配列のDNA、Trp64-com、Arg64-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た。購入したDNAはリン酸緩衝液(pH7.0)で濃度が 1.0×10^{-5} mol/Lになるように調整し、以後の実験操作において 1.0×10^{-5} Lずつ使用した。交流測定では、TEバッファ液{ 1.0×10^{-2} mol Tris/HCl (pH7.0), 1.0×10^{-2} mol 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。このくし型電極はパイ

レックスガラス(コーニング#7740、1mm厚)基板上にAuによる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、ライン&スペースが $60 \mu\text{m}$ で、片側の電極面積は 1.4mm^2 である。これは量産に適した簡単な構造である。

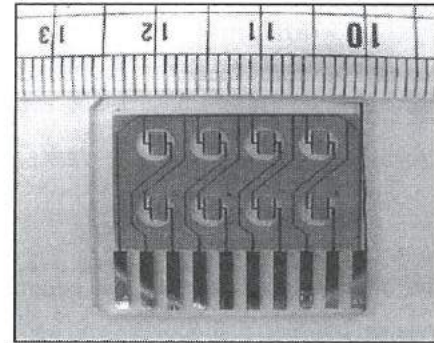


図1 DNAチップ(くし型電極)

Fig.1. DNA chip.

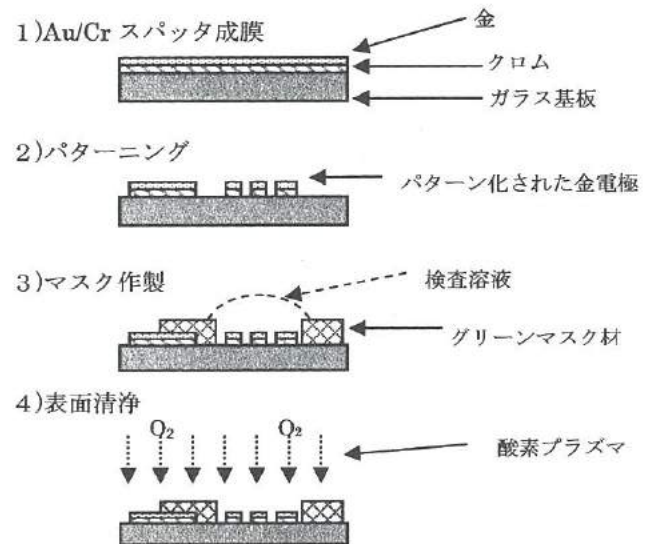


図2 DNAチップの電極作成フロー

Fig.2. A Process flow for DNA chip electrode.

DNAチップの電極作成フローチャートを図2に示す。RCA洗浄により、基板に付着した有機物等を洗浄除去した後、Cr、Auの順にスパッタリングによって成膜した。Cr膜はAu膜の密着強度を上げるために成膜し、膜厚は50nm程度である。Au膜は200nmである。電極形成は、フォトレジスト膜(OFPR800-10cp)をエッチングマスクとし、Cr、Auそれぞれのエッチング液を用いてパターニングした。その後、硫酸と過酸化水素水の混合溶液でフォトレジストを除去し、

最後に O₂ プラズマで微細な有機物を完全に除去する表面洗浄を行った。

＜3. 2＞交流インピーダンス測定法

交流法によるインピーダンス測定は、電極界面の反応の情報を得ることができ、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様であるため、ハイブリの有無を電極界面の反応の情報として対比することができる¹⁰⁾。

一般にインピーダンス測定の結果はボード線図で表され、周波数とインピーダンスの絶対値|Z|の関係が求まる。

図4は DNA チップの電気的等価回路を示す。(a)に示す DNA チップは、Randles の等価回路を用いると低周波域では溶液抵抗 R_{sol} とそれぞれの電極界面における電気二重層容量 C_{dl} を直列に繋いだ(b)の回路に近似でき、更に C_{dl} を省略し、まとめた電気回路(c)で表すことができる。従って、(c)のインピーダンスは式(1)のようになる。

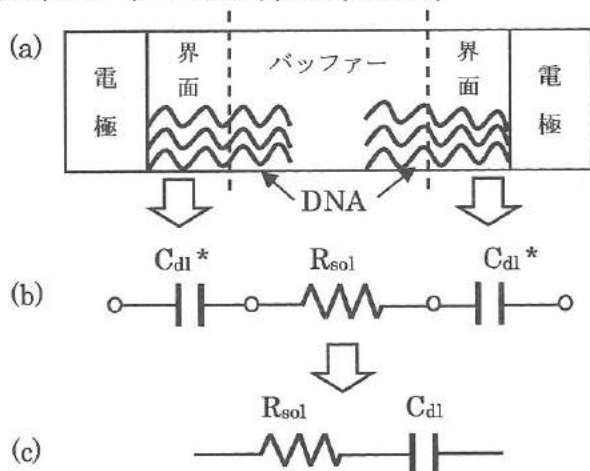


図4 DNA チップの等価回路

Fig.4. Equivalent circuit of DNA chip.

$$Z = R_{sol} + \frac{1}{j\omega C_{dl}} \quad (1)$$

R_{sol}: 溶液抵抗 C_{dl}: 電気二重層容量

図4 (c) の等価回路を用いて交流インピーダンスを測定すると、図5のようなボード線図が得られる。

(1)式より、容量 C_{dl} が大きくなるとインピーダンス|Z|が減少し、逆に、容量 C_{dl} が小さくなるにつれ|Z|が増加する。この容量変化に伴うインピーダンス値の変化を利用することでハイブリの有無を判別する。

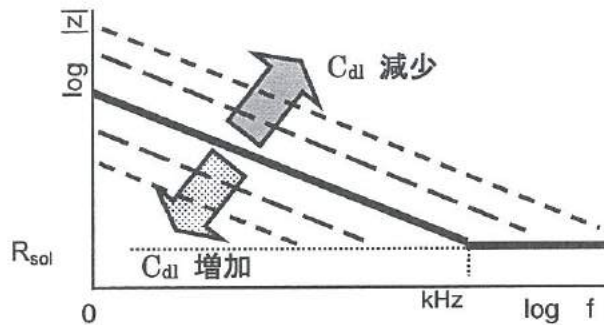


図5 等価回路のボード線図

Fig.5. Bode plot (f-|Z| plot) of equivalent circuit.

4. 実験結果・考察

＜4. 1＞ハイブリ方法の改良

従来行っていたプローブ DNA を電極へ固定した後、ハイブリ処理を行う方法であるプローブ固定化法では、プローブ DNA を事前に固定化しているため、ターゲット DNA と遭遇する確率が低く、ハイブリ効率が低いという欠点があった。今回発案した別容器中でハイブリ処理後電極に固定する方法である液中ハイブリ法では、ハイブリを両 DNA が能動的な条件下で行うため、ハイブリ効率が向上し、測定結果の高感度化が計られるものと推察した。図6、7はそれぞれのハイブリ方法についてのハイブリフロー及び詳細図を示す。

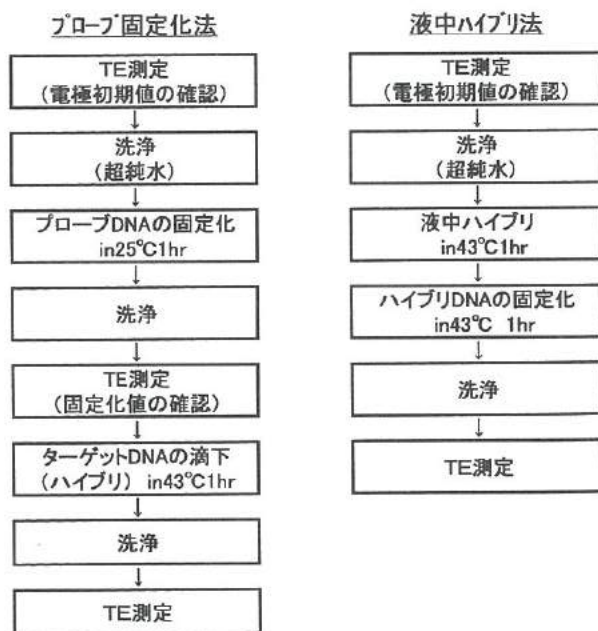


図6 プローブ固定化法、液中ハイブリ法のハイブリフロー

Fig.6. Two Processes flow of hybridize.

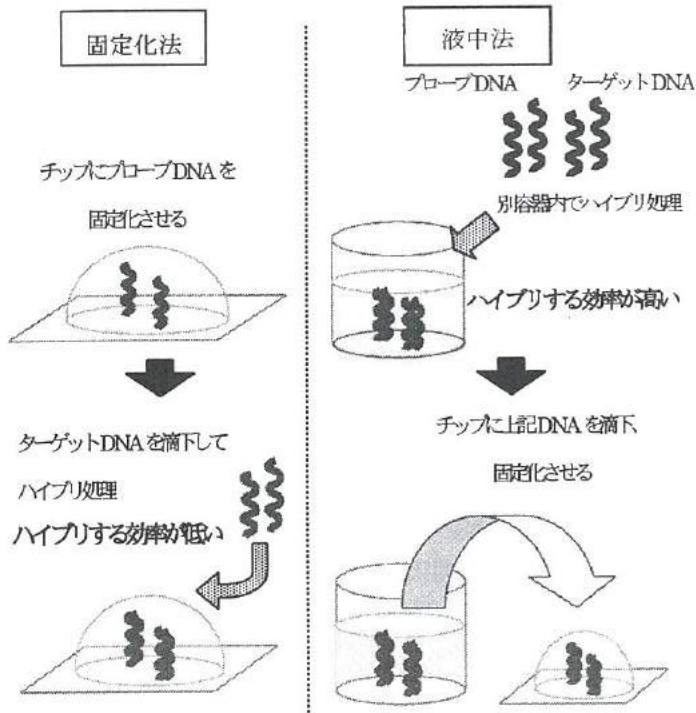


図7 プローブ固定化法、液中ハイブリ法の詳細図
Fig.7. Two Processes picture of hybridize.

< 4. 2 > 測定誤差要因とその対策及び最適条件の検討

交流インピーダンスを用いてDNAのハイブリの有無を検出する場合、高精度・高感度が求められる。従って、その誤差要因の探索や測定の最適条件を求めることが重要な課題となる。以下に検討結果を示す。

(1) 電解液の液滴形状

電解液の滴下量一定の条件下において、滴下後の液滴形状により有効電極面積が変化し、測定値が不安定になった。この原因は、電極間静電容量を表す式(2)に示したように、面積が変化すると容量が変化する影響と考えられる。その対策として、各電極セル以外の配線部を覆う液溜り(グリーンマスク)をDNAチップに設け、電極面積を一定とした。その結果、図8に示すように測定値が安定した。

$$C = \varepsilon \cdot S / d \quad (2)$$

ε : 誘電率 S : 電極面積 d : 電極間距離

(2) 電解液滴下量

電解液の滴下量を任意に変化させたが、滴下量による測定値の変化はなかった。

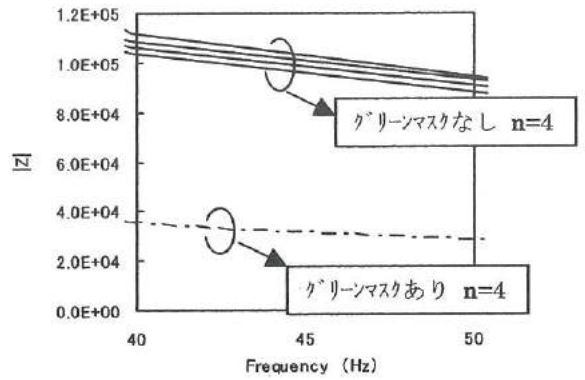


図8 グリーンマスクの効果
Fig.8. The effect of the Green Mask.

(3) 電解液濃度

通常使用する電解液濃度を0.1~10倍に変え測定を行うと、濃度増加に伴いインピーダンスは減少した。しかし濃度毎にインピーダンス値を比較したところ濃度1倍以上で飽和していたため、現在の電解液を今後も用いることとした。

(4) DNA濃度

現状の $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ の濃度に対し、1倍、1/100倍、1/10000倍のものを用いて比較したところ、濃度の減少に伴いインピーダンスは減少した。

(5) 電極間距離

電極間距離の変化による測定値への影響を調べた。なお、この実験には対極が互いに平行な電極形状を基本形状とし、電極間距離を変えたものとを比較した。

表2及び図9は電極間距離及び電極面積の影響を調べるために試作したDNAチップの電極概要の一例である。

表2及び図10、11中のサンプル1,2,3の比較より、電極間距離によるインピーダンスへの影響は殆ど無いと考えられる。

表2 各種平行電極型の概要
Table 2. The View of various parallel electrode

	電極間距離 d[mm]	電極面積 S[mm ²]	電極間比率	面積比率	備考
サンプル1	63.50	3.89	—	—	基準電極
サンプル2	635.00	3.72	1.30	0.96	電極間距離大
サンプル3	6.35	3.90	0.40	1.00	電極間距離小
サンプル4	63.50	5.01	1.00	1.29	電極面積大
サンプル5	63.50	1.60	1.00	0.41	電極面積小

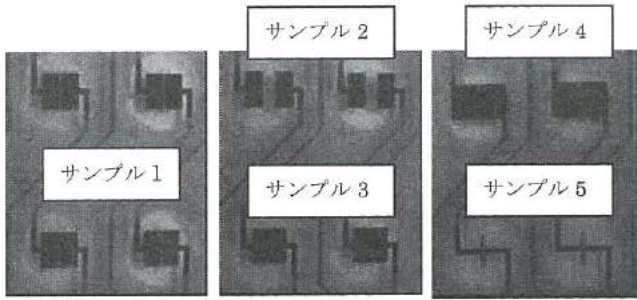


図9 各種平行電極図

Fig.9. Various parallel electrode.

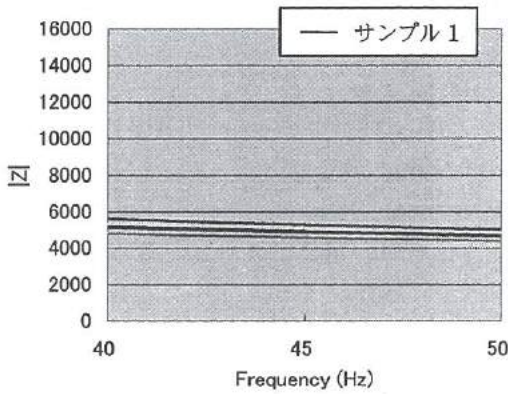


図10 平行電極型の測定結果

Fig.10. The measurement result of parallel electrode

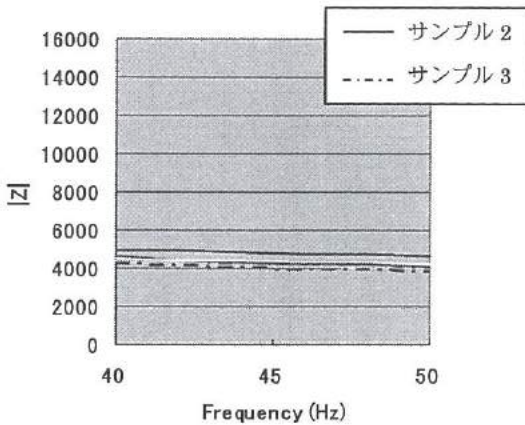


図11 電極間距離を変えた平行電極型の測定結果

Fig.11. The measurement result of parallel electrode of changed distance between electrode.

(6) 電極面積

前項目と同様に電極面積の変化による、測定値への影響を調べた。

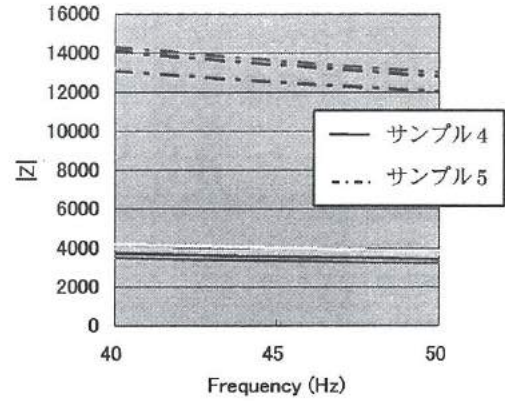


図12 電極面積を変えた平行電極型の測定結果

Fig.12. The measurement result of parallel electrode of changed electrode size.

表2及び図10、12中のサンプル1,4,5の比較より、面積増加に伴いインピーダンスは減少していることが分かる。この結果は式(2)とも一致し、チップ作製における面積の誤差がデータに大きく影響することが分かった。

< 4. 3 > 交流測定の実験結果

液中ハイブリ法の採用と実験結果に影響を及ぼす諸要因を精査することにより、測定値が安定した。完全一致 DNA と不一致 DNA を用いた実験において、インピーダンスの差からハイブリの有無を判別できることが可能となった。

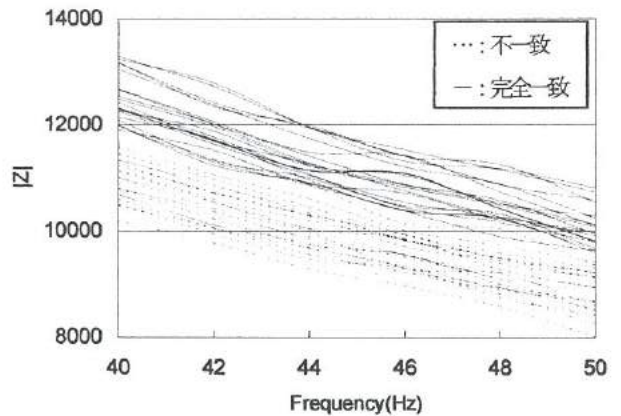


図13 完全一致と不一致 DNA の測定結果

Fig.13. The measurement result of hybridization and non-hybridization of DNA.

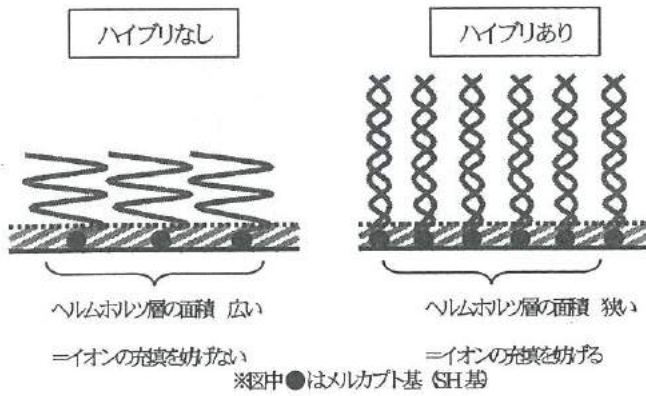


図14 ハイブリあり、なしにおける電極界面の状態
Fig.14. The condition of electrode surface of hybridization and non- hybridization.

図 14 はハイブリあり、なしの電極界面状態の概念図を示す。電極界面において、ハイブリしない場合は、ヘルムホルツ層の面積が広く、DNA の充填がないため、静電容量が大きくなるのに対し、ハイブリする場合は、ヘルムホルツ層の面積が狭く、ハイブリした DNA の充填によって静電容量が小さくなると考えられる。

しかし、一塩基の異なる DNA について実験したところ、インピーダンス差が小さいため、一塩基の異なる DNA の判別はできなかつた。これは クロスハイブリダイゼーションが起きているためと思われる、最適なハイブリ条件の探査が必要であると考えられる。

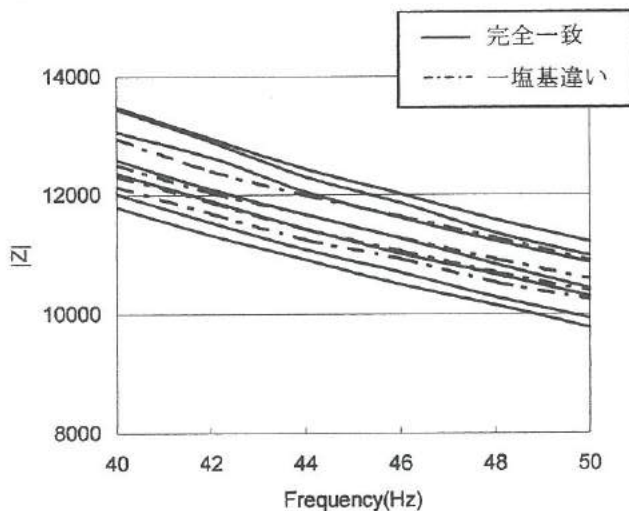


図14 1塩基多型 DNA の測定結果
Fig.14 The measurement result of SNP's

5. 結 言

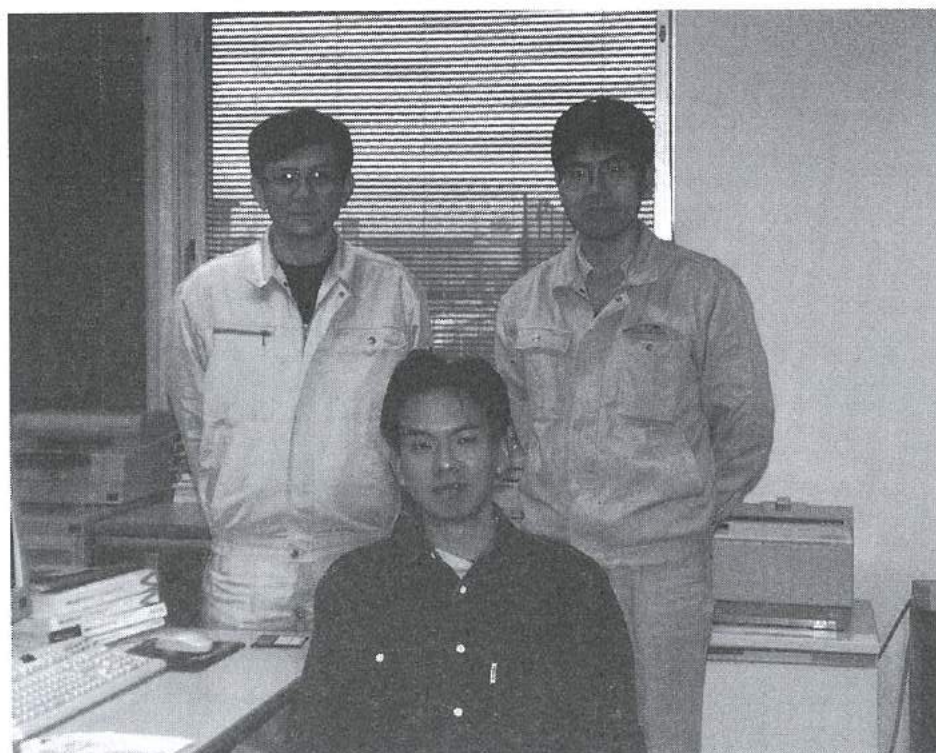
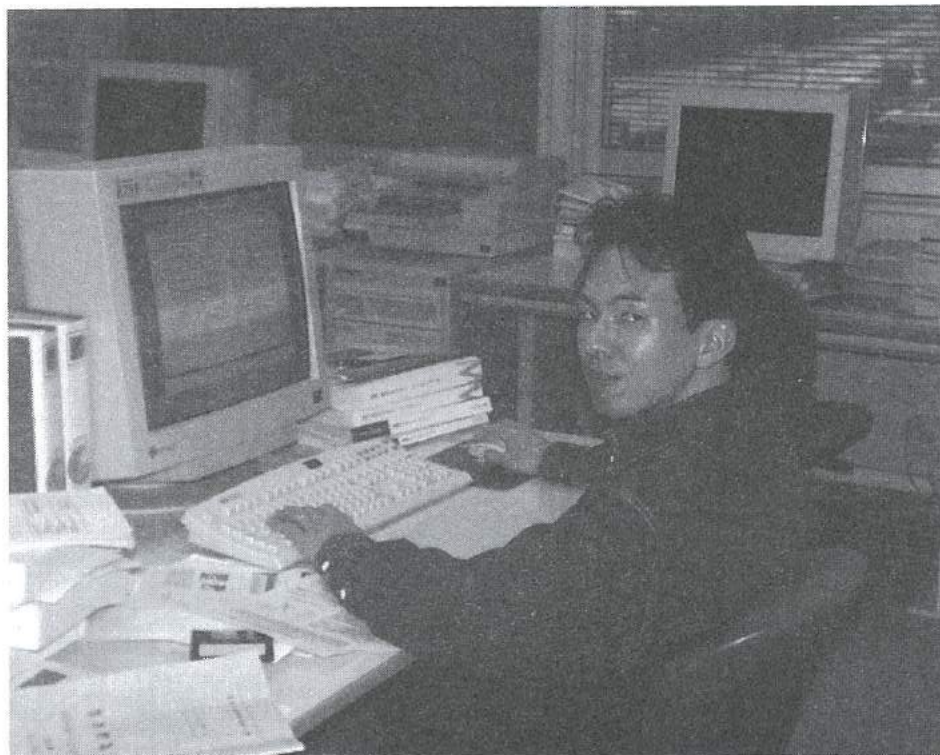
本研究では糖尿病、肥満と関連のある遺伝子配列をプローブDNAおよびターゲットDNAとして用い、プローブDNAとターゲットDNAとのハイブリの有無を高精度で検出するインピーダンス測定法の確立を図った。その結果、以下の成果が得られた。

- ① 液溜りを DNA チップに設け電極面積を一定にすることで、測定値を安定させることが出来た。
- ② 液中ハイブリ法により、ハイブリ効率を向上させ、完全一致と不一致 DNA においてハイブリの有無を高精度に検出することが出来た。

参考文献

- 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) "ハイブリダイゼーションの検出方法"、特願 2002-331059

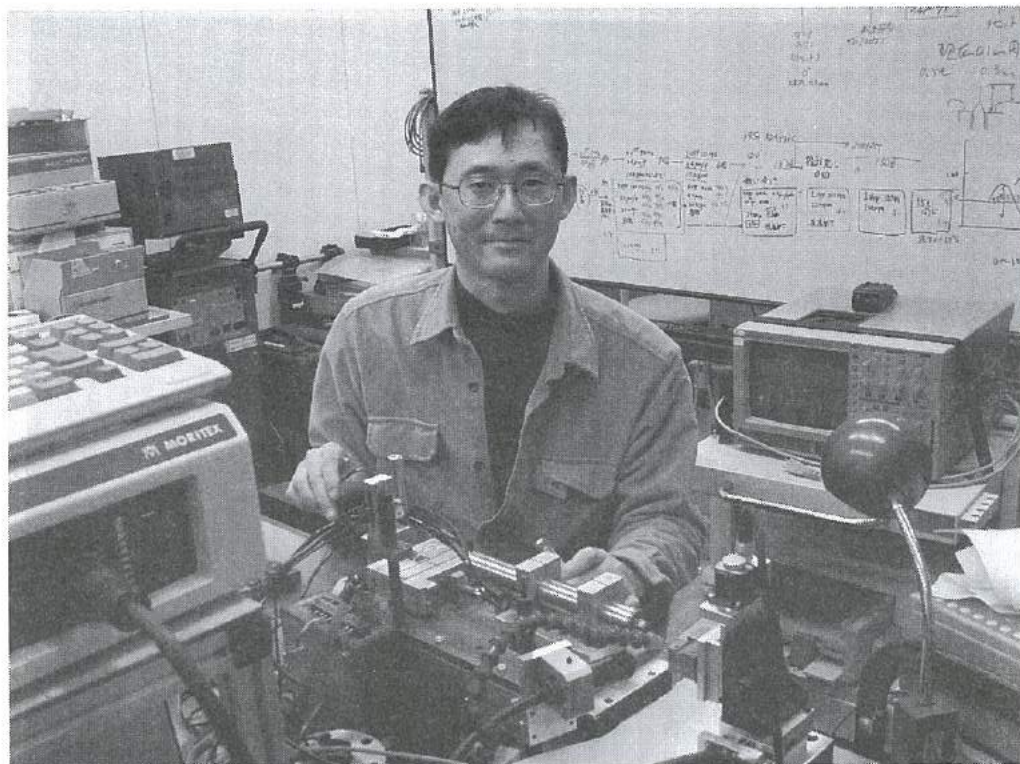
「薄膜超低温特性抵抗器」グループの研究活動風景



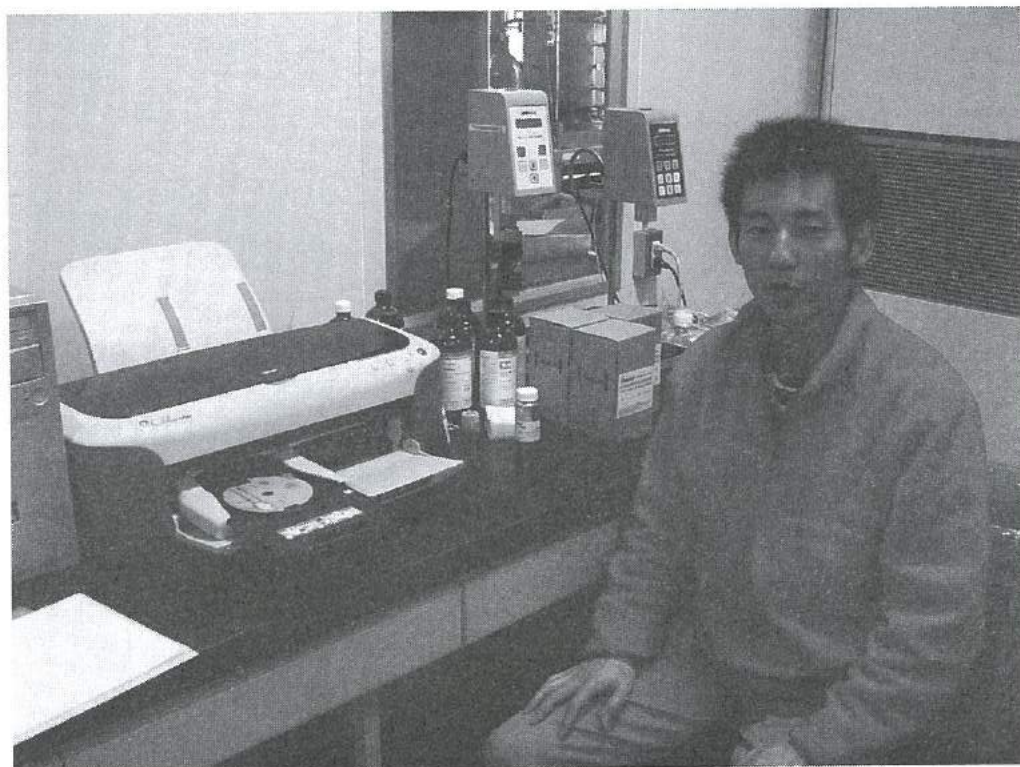
「ダイレクトメタノール燃料電池」グループの研究活動風景



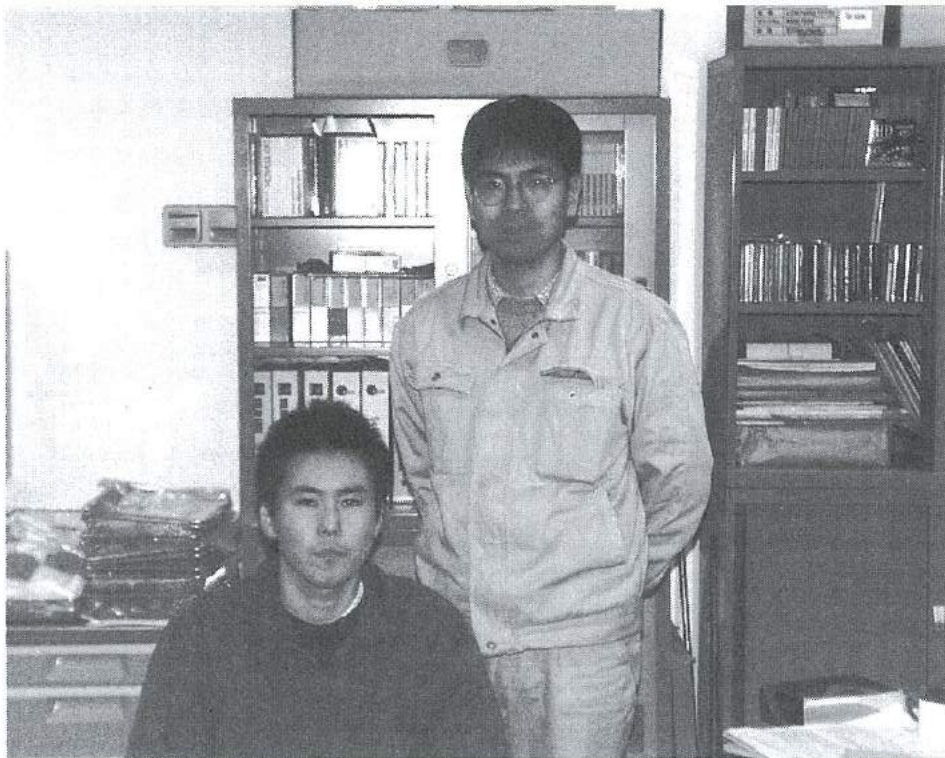
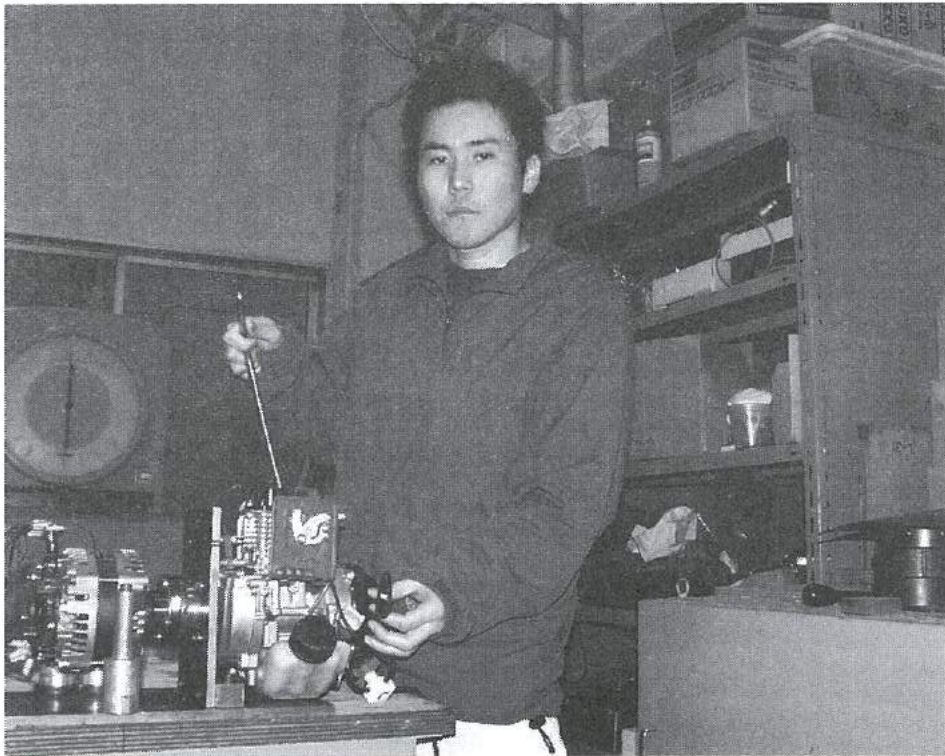
「小径穴加工システム」グループの研究活動風景



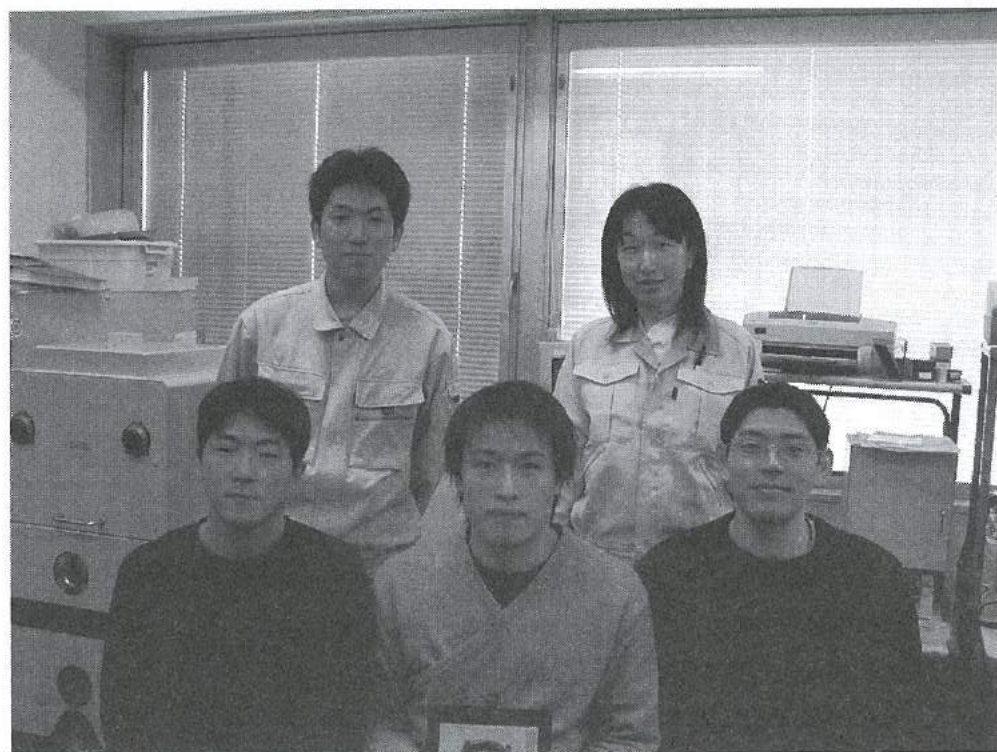
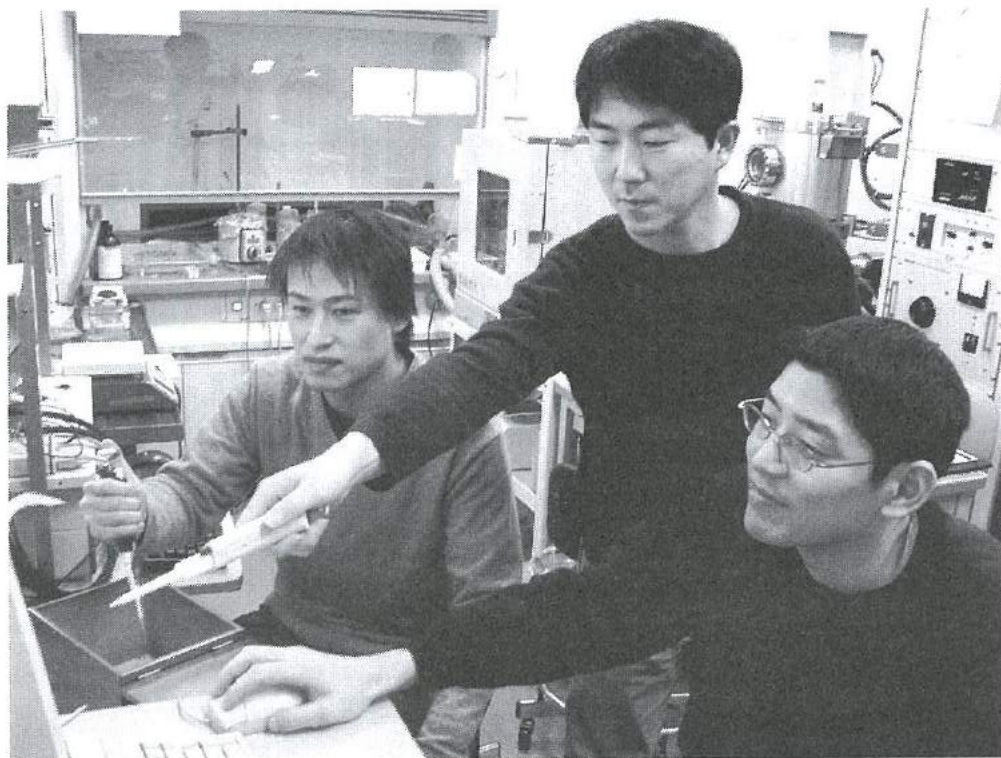
「インクジェット法による電子部品作製」グループの研究活動風景



「超小型4サイクルエンジン」グループの研究活動風景



「生活習慣病等体質診断用DNAチップ」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

- 17年間の研究テーマ数：108テーマ（昭和62年度～平成15年度）
- 参加研究員延べ人数：239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（株タカギセイコー）・田上輝次（東洋化工株）・長柄 勝（長柄鉄工株）
◎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（北陸電気工業株）・加藤昌憲（日本鋼管株）・滝川義弘（燐化学工業株）
・堀田 孝章（立山科学工業株）
◎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（タカノギケン株）・茨木正則（北日本電子株）・西田信孝（株タカギセイコー）
・山田俊一（エルコー株、現コーセル株）
◎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（タカノギケン株）・茨木正則（北日本電子株）
・窪池義文（エルコー株、現コーセル株）・滝脇優治（株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（タカノギケン株）・小町秀彦（株タカギセイコー）・滝川義弘（燐化学工業株）
・平能 司（株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-Metal系アモルファス軟磁性薄膜に関する研究
越浜哲夫（株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（株タカギセイコー）・上段一徳（東洋化工株）・長柄 勝（長柄鉄工株）
・柳原 潔（株黒田精型）
◎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（北陸電気工業株）・水谷里志（立山電化工業株）・山田義昭（東洋化工株）
・宮沢進一（吉田工業株、現YKK株黒部工場）・山本直樹（NKK（日本鋼管株）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 (株インテック)・堀井 孝 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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 (株タカギセイコー)・上段一徳 (東洋化工(株))・長柄 勝 (長柄鉄工(株))
・柳原 潔 (株黒田精型)

◎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(株))・滝川義弘・煙田不二男 (燐化学工業(株))・平能 司 (株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(株))・吉田孝一 (株タカギセイコー)・吉野正浩 (吉田工業(株)、現YKK(株))

◎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 (株不二越)・西田達也 (北陸電気工業(株))・前坂昌春 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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 (株インテック)・堀井 孝 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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(株))・中山正明 (株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 (株不二越)・高島 誠 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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 (株タカギセイコー)・田村正行 (吉田工業(株)、現YKK(株))・柳原 潔 (株黒田精型)

◎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

尾畑哲史 (株和泉電気富山製作所)・山田義昭 (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. 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 (燐化学工業(株))・若林成喜 (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

5. 画像による寸法計測に関する研究

石黒哲也 (株)タナカエンジニアリング)・窪池義文 (エルコー(株)、現コーセル(株))
・西浦慎一・村井哲雄 (株)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(株))・堀登紀男 (株)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(株))

◎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(株))

◎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

桜榮和則 (株)タカギセイコー)・田村正行 (吉田工業(株)、現YKK(株))・柳原 潔 (株)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 (株)タナカエンジニアリング)・西浦慎一 (株)タカノギケン)

・山本達生 (エルコー(株)、現コーセル(株))

◎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

尾畑哲史 (株)和泉電気富山製作所)・山田義昭 (東洋化工(株))

◎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(株)、現コーセル(株))・竹端精己 (株)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(株))・島野英明 (株)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(株))

◎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 (コーセル(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（コーセル株）・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（コーセル株）・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（コーセル株）・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 睦（燐化学工業株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. RIMのCAE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（株タカギセイコー）・寺本正夫・杉谷 健（コーセル株）
中村厚平（エヌアイシ・オートテック株）・松田英雄（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. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発
高柳 毅 (コーセル株)・田村雅英 (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
3. リン酸エッチング液の基礎研究
山口 睦 (燐化学工業株)
◎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 (富山軽金属工業株)・福本 滋 (北陸電気工業株)・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ー (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株)・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株)・米谷庄一 (三協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株)・高田謙一 (コーセル株)
◎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チング液の開発
山口 睦 (燐化学工業株)
◎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 (北陸電気工業株)・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 (東洋化工株)
◎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 (北陸電気工業株)
◎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 (富山軽金属工業株)・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株)

◎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・笹島和明(株)タカギセイコー・田島正康(株)タナカエンジニアリング)

・田中 篤(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. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究

松井裕昭(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. レドックス型太陽発電システムの開発(2)

市川良雄(富山軽金属工業株)・田畑裕信(中越合金鋳工株)・三井清隆(株)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(コーセル株)・森田裕之(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、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(北陸電気工業株)・安田純子(コーセル株)

◎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(東洋化工株)・二見泰雄(三協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、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(富山軽金属工業株)・田畑裕信(中越合金鋳工株)・野中義夫(有)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株)・渡辺暁信(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、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(コーセル株)・角谷哲哉(北陸電気工業株)・小島理敬(三協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、富山大学工学部

4. 電力変換用圧電セラミックストランソンの開発

堀井一宏(コーセル株)・柳川 新(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

5. 局所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 (北陸電気工業株)・野上拓也 (株タナカエンジニアリング)・山田浩美 (東洋化工株)
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 (株斉藤製作所)・高橋 聡 (株タナカエンジニアリング)・藤木和幸 (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

☆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
稲垣 聡 (北陸電気工業株)・渡辺暁信 (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
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 (田中精密工業株)
◎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 (コーセル株)・南 政克 (北陸電気工業株)・山田浩美 (東洋化工株)
◎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
4. 電気自動車の開発 (2)
坂本雅美 (株斉藤製作所)
◎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 (株斉藤製作所)・橋本 明 (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、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 (株タカギセイコー)・福田隆之 (コーセル株)
◎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 (田中精密工業株)
◎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 (田中精密工業株)
◎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 (コーセル株)・坂本雅美 (株斉藤製作所)・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 (㈱斎藤製作所)
◎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 (コーセル㈱)・山田浩美 (東洋化工㈱)
◎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㈱)・高橋伸忠 (㈱タカギセイコー)・野田耕司 (三協アルミニウム工業㈱)
・石井 雅 (富山県土木部)
◎指導機関：工業技術センターPJ・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 (コーセル㈱)
◎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 (コーセル株)・坂本雅美 (株)斉藤製作所
◎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、JST
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)斉藤製作所・稲澤直子 (コーセル株)
◎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 (コーセル株)・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 (㈱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

★平成15年度(第17回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、9名)

1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(3)

石見 雅美 (㈱斉藤製作所)・魚谷 一成 (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

2. 生活習慣病等体質診断用DNAチップの検出精度向上に関する研究(3)

碓井 洋平 (立山科学工業㈱)・中山 均 (コーセル㈱)・中林 俊幸 (東洋化工㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

3. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発

桑原 大輔 (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、富山大学工学部

4. 小型穴加工システムの開発

手嶋 成市 (㈱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・中央研究所

5. 超小型4サイクルエンジンの開発(2)

花崎 大 (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・中央研究所

6. インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究

増山 智英 (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

第10回『自作ミニチュアマシン・サッカーゲームコンテスト』の概要

1. 競技日：平成15年11月2日(日) 午前10時～午後4時30分
2. 会場：富山産業展示館(テクノホール) 特設会場
3. 主催：若い研究者を育てる会
4. 共催：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
5. 後援：富山県教育委員会、(社)富山県情報産業協会
とやまマルチメディア祭2003実行委員会、(社)富山県機械工業会
6. 参加チーム：22チーム44台(5校49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 石倉・福元：富山県立魚津工業高校学校
自作マシンの愛称：SKILL
優勝 西尾・濱藤：富山県立魚津工業高校学校
自作マシンの愛称：HSN WEAPON'S
次勝 角・谷：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：一文字
技術賞 浦城・松嶋：富山県立魚津工業高校学校
自作マシンの愛称：コックローチ
技術賞 上井・酒井・谷川：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：沢工・ミニスター
努力賞 橋本安・橋本潤：富山県立魚津工業高等学校
自作マシンの愛称：ピンボール&シューティングスター
努力賞 小善・平井：富山県立魚津工業高等学校
自作マシンの愛称：猪突猛進
努力賞 上田・山下：富山県立魚津工業高等学校
自作マシンの愛称：*U. A. D
努力賞 廣川・遠田：富山県立砺波工業高等学校
自作マシンの愛称：蟹
努力賞 平松・河合：富山県立砺波工業高等学校
自作マシンの愛称：大悪司
努力賞 道具・高田：富山県立砺波工業高等学校
自作マシンの愛称：たけし
努力賞 後藤・嶋崎・芝田：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：イービス
努力賞 津山・目谷・久保：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：邪鬼
努力賞 小松・岡部・高沢：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：M e b i u s
努力賞 田上・岡本・山崎：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：初号機
努力賞 秋元・田辺：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：_ 8 / T y p e - H
努力賞 柳瀬・米谷：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：U, K
努力賞 毛利・池田：富山県立高岡工芸高等学校
自作マシンの愛称：*F. G

- 努力賞 中村・大瀧：富山県立高岡工芸高等学校
自作マシンの愛称：ふでばこ
- 努力賞 山本・竹内：富山県立高岡工芸高等学校
自作マシンの愛称：AMA
- 努力賞 佐藤・中野：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：じしゃくくん
- 努力賞 佐伯・高沢：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：FREE

(*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：10cm角以内、無線マシンは12cm角以内
- ・ 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16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(株)	西川 浩司	西川 武	076-422-2578
2	コーセル(株)	町野 利道	織田 誠二	076-432-8151
3	(株)斉藤製作所	斉藤 恵三	森本 政典	076-468-2727
4	三協アルミニウム工業(株)	川村 人志	吉岡 茂喜	0766-20-2366
5	(株)タカギセイコー	羽場 光明	松島 純治	0766-24-5621
6	タカノギケン(株)	高野 啓良	瀧森 幸浩	076-455-2525
7	武内プレス工業(株)	武内 繁和	駒井 義時	076-441-1856
8	立山アルミニウム工業(株)	要明 英雄	伊藤 房男	0766-64-4419
9	立山科学工業(株)	水口昭一郎	諸橋 康平	076-429-6024
10	田中精密工業(株)	田中 一郎	高木 善昭	076-451-5600
11	東洋化工(株)	中田 守人	村井 文雄	076-475-2125
12	長柄鉄工(株)	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
13	北陸電気工業(株)	野村 正也	山本 肇	076-467-3768
14	燐化学工業(株)	藤井 修	滝川 義弘	0766-86-2511
15	YKK(株)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
角 崎 雅 博	工業技術センター機械電子研究所	電子技術課長	工学博士	076-433-5466
川 越 誠	富山県立大学工学部	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	工業技術センター中央研究所	主任研究員	工学博士	0766-21-2121
谷 野 克 巳	工業技術センター	次 長	工学博士	0766-21-2121
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	工業技術センター中央研究所	加工技術課長	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	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	076-434-2281
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 飴 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～平成14年度）
- 7代会長 斉藤 恵三（平成15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教授）
- 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・科学技術コーディネータ）
- 南日 康夫（富山県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）
- 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 〒 TEL : FAX :
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わせください。

☆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

TEL 076-444-5607

FAX 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 藤城 敏史 谷野 克巳
発行年月日	平成16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。