

平成22年度予備費事業 戦略的基盤技術高度化支援事業

「リチウムイオン電池用高精度シャント抵抗器の
超薄肉アウトサート成形技術・生産技術の確立」

成果報告書

平成24年1月

委託者 東北経済産業局

委託先 公益財団法人福島県産業振興センター

目次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究の目的	1
1-2 研究の概要	1
1-3 研究体制	
1-3-1 研究組織	3
1-3-2 実施内容項目	3
1-4 成果概要	4
① 金属抵抗体の抵抗値シミュレーション技術の開発	
② 金属抵抗体形状高精度成形技術の開発	
③ 熱硬化性樹脂の超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被膜技術の開発	
④ シャント抵抗器の信頼性評価	
⑤ 高性能小型シャント抵抗器製造技術に係る基礎技術の開発	
⑥ 研究成果の知的財産化	
1-5 当該プロジェクト連絡窓口	5

第2章 本論

2-1 開発の実施状況	6
2-1-1 金属抵抗体の抵抗値シミュレーション技術の開発	6
2-1-2 金属抵抗体形状高精度成形技術の開発	8
2-1-3 熱硬化性樹脂の超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被膜技術の開発	10
2-1-4 シャント抵抗器の信頼性評価	12
2-1-5 高性能小型シャント抵抗器製造技術に係る基礎技術の開発	17
2-1-6 研究成果の知的財産化	18
2-2 まとめ	18

第1章 研究開発の概要

1-1 研究の目的

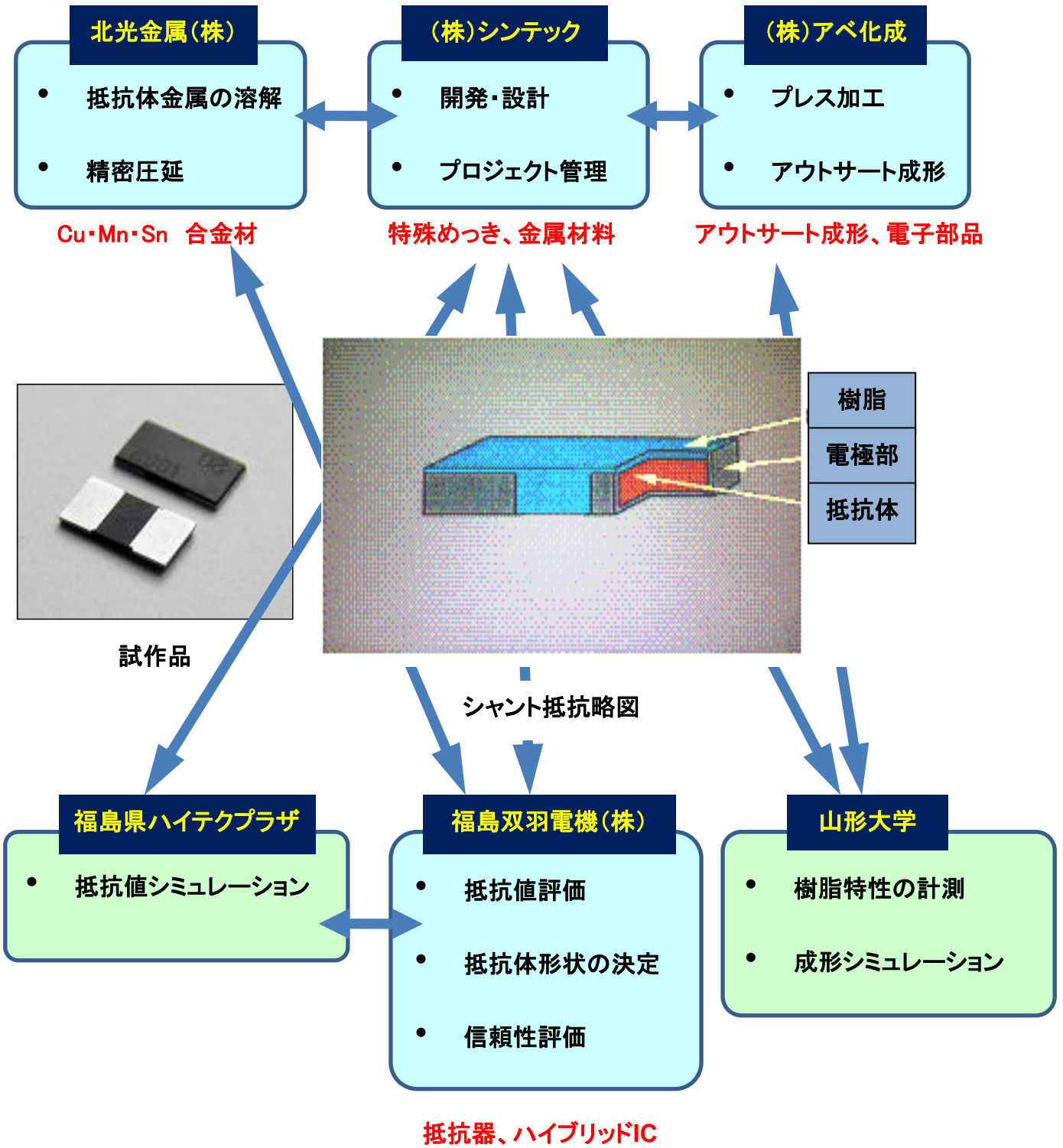
現在、電子機器業界では、リチウムイオン電池の充放電制御に必要な電流検出に用いるシャント抵抗器の高精度化、小型化、SMD化のニーズが高いが、現行の単品生産方式や多数個配置組立後分離生産方式では抵抗値高精度化や工程自動化が極めて困難である。従来のシャント抵抗器は、薄板材を金属抵抗体の形状に成形し、リード線を取り付けてエポキシ樹脂などで絶縁被膜することで製造されてきた。さらにリチウムイオン2次電池の制御などに必要な抵抗値精度 $\pm 1\%$ を実現するには、レーザー加工などによる抵抗値の調整が必要であった。また、既に市販されているSMDタイプのシャント抵抗器は、1個流し生産方式で、1個ずつ抵抗値調整をおこなっていたため、製造コストを削減することが困難であった。

そこで、本研究では、高精度シャント抵抗器の連続多数個生産技術を開発し、国際的な競争力を持つシャント抵抗器を国内生産・供給することで、日本のものづくり産業の競争力強化に資することを目的とした。

1-2 研究の概要

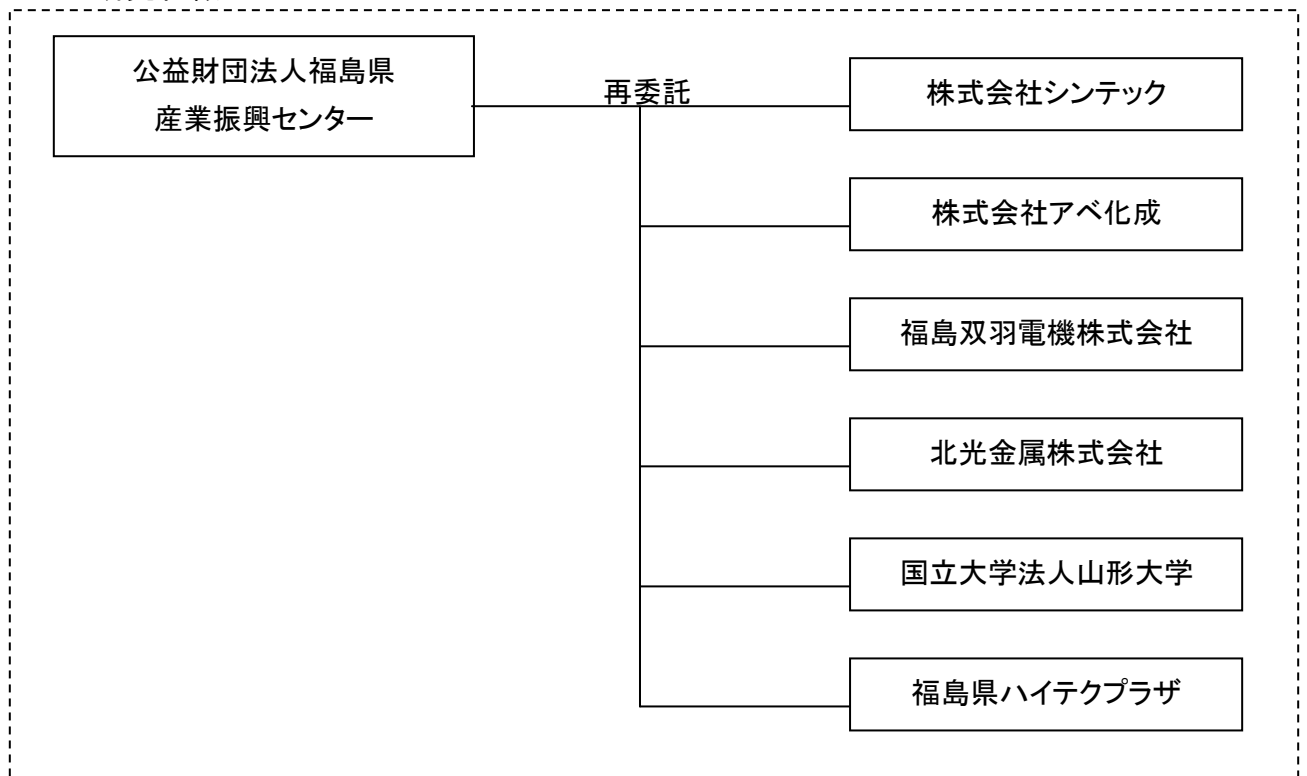
本事業では、金属抵抗体形状成形、熱硬化性樹脂による絶縁被膜といった各工程における加工精度を向上することで、連続多数個生産技術を確立する。まず、原料のフープ材を金属抵抗体形状に加工した後、熱硬化性樹脂のアウトサート成形で絶縁被膜し、製品毎に切り出した後に電極をメッキする。この連続した加工法ならば、コスト要因である製品毎の抵抗値調整工程を省略でき、国際競争価格での生産を実現できる事が期待される。

研究概要図



1-3 研究体制

1-3-1 研究組織



総括研究代表者(PL)
株式会社シンテック
代表取締役 赤津 和三

副総括研究代表者(SL)
国立大学法人山形大学
大学院理工学研究科
教授 伊藤 浩志

上記体制の下、各研究テーマを実施した。

1-3-2 実施内容項目

- ① 金属抵抗体の抵抗値シミュレーション技術の開発
 - ・シャント抵抗器の抵抗値シミュレーション法の開発
- ② 金属抵抗体形状高精度成形技術の開発
 - ②-1 金属抵抗体の高精度圧延技術の開発
 - ②-2 金属抵抗体への高精度圧延加工及び高精度切削加工による薄肉部加工技術の開発
 - ②-3 金属抵抗体のくびれ部成形に係る角穴加工の精密プレス高精度加工法の確立

- ③ 熱硬化性樹脂の超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被膜技術の開発
 - ③-1 熱硬化性樹脂の基礎物性の測定
 - ③-2 10個及び80個同時成形を前提とした熱硬化性樹脂超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被膜技術の開発
- ④ シャント抵抗器の信頼性評価
 - ・ シャント抵抗器の抵抗値評価及び信頼性評価
- ⑤ 高性能小型シャント抵抗器製造技術に係る基礎技術の開発
- ⑥ 研究成果の知的財産化

1-4 成果概要

本研究は、金属抵抗体を連鋳 ⇒ 精密圧延 ⇒ 精密溝加工 ⇒ 精密プレス加工 ⇒ 超薄肉アウトサート成形 ⇒ 電極のめっき ⇒ 超低抵抗値測定の開発研究を行った。本研究では試作を三回（1次試作、1.5次試作、2次試作）行った。事業のスムーズな運営を図るため事業委託管理者、委託先（4民間会社、1県研究機関、1大学院）及びアドバイザーが参加しての合同会議を開催した。

その結果、抵抗値 $1\text{m}\Omega$ 精度 $\pm 1\%$ の達成及び製造コストは目標としていたコストで製造できる見通しがついた。

本研究の各研究項目における成果を以下に示す。

実施項目	結 果
① 金属抵抗体の抵抗値シミュレーション技術の開発 ・ シャント抵抗器の抵抗値シミュレーション法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 金属抵抗体の三次元形状を決定した。 ・ $3\text{m}\Omega$・$5\text{m}\Omega$・$10\text{m}\Omega$ は金属抵抗体素材を替えてシミュレーション解析を行い、抵抗体材料と形状を決定した。
② 金属抵抗体形状高精度成形技術の開発 ②-1 金属抵抗体の高精度圧延技術の開発 ②-2 金属抵抗体への高精度圧延加工及び高精度切削加工による薄肉部加工技術の開発 ②-3 金属抵抗体のくびれ部形成に係る角穴加工の精密プレス高精度加工法の確立	<ul style="list-style-type: none"> ・ 寸法精度達成、組成制御により固有抵抗値の安定化が出来た。 ・ 新設スカイビング加工機による溝加工寸法精度 $\pm 0.5\mu\text{m}$ 狙いに対し実測値はレンジで $5\mu\text{m}$ であった。 ・ フープ材の硬さを検討し、1ショット10個取りとすることで、抵抗体幅 $2.9 \pm 0.005\text{mm}$ の精度での加工法を確立した。

<p>③ 熱硬化性樹脂超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被覆技術の開発</p> <p>③-1 熱硬化性樹脂の基礎物性の測定</p> <p>③-2 10個及び80個同時成形を前提とした熱硬化性樹脂超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被覆技術の開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱硬化性樹脂（フェノール樹脂）の軟化温度、粘弾性、粘弾性の径時変化、PVT 特性等を測定しシミュレーションに用いた。 ・ 1ショット10個取り金型により、シミュレーションと実成形が一致することを確認した。 ・ シミュレーションにより射出圧力を下げる事が出来80個取り金型による完全充填が出来た。
<p>④ ショット抵抗器の信頼性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ショット抵抗器の抵抗値測定及び信頼性評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 四端子法による正負逆転測定により 1mΩ を高精度に測定する技術を開発した。 ・ PWB 実装で測定確認した抵抗値は、平均値 1.003 mΩ を確認した。 ・ 信頼性試験は JIS C 5201 に準拠した項目を実施し全て合格した。
<p>⑤ 高性能小型ショット抵抗器製造技術に係る基礎技術の開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3.2×1.6mm、2.0×1.2mm サイズについて 20個/1ショット金型を試作し、t 0.05mmの超薄肉アウトサート成形により絶縁被覆が出来ることを確認した。 ・ これらの抵抗値は 1mΩ に対して平均値が高めに偏っている。
<p>⑥ 研究成果の知的財産化。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 意匠登録 3 件及び PCT 出願 1 件を行った。

1-5 当該プロジェクト連絡窓口

事業・研究総括関連

公益財団法人 福島県産業振興センター

技術支援部 産業支援グループ 本田 和夫

Tel:024-959-1951 Fax:024-959-1952

技術関連問合せ先

株式会社シンテック

代表取締役 赤津 和三

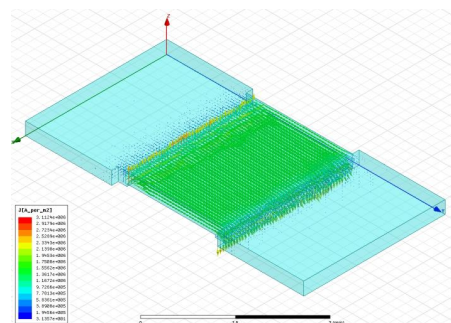
Tel:0246-77-0110 Fax:0246-77-0112

第2章 本論

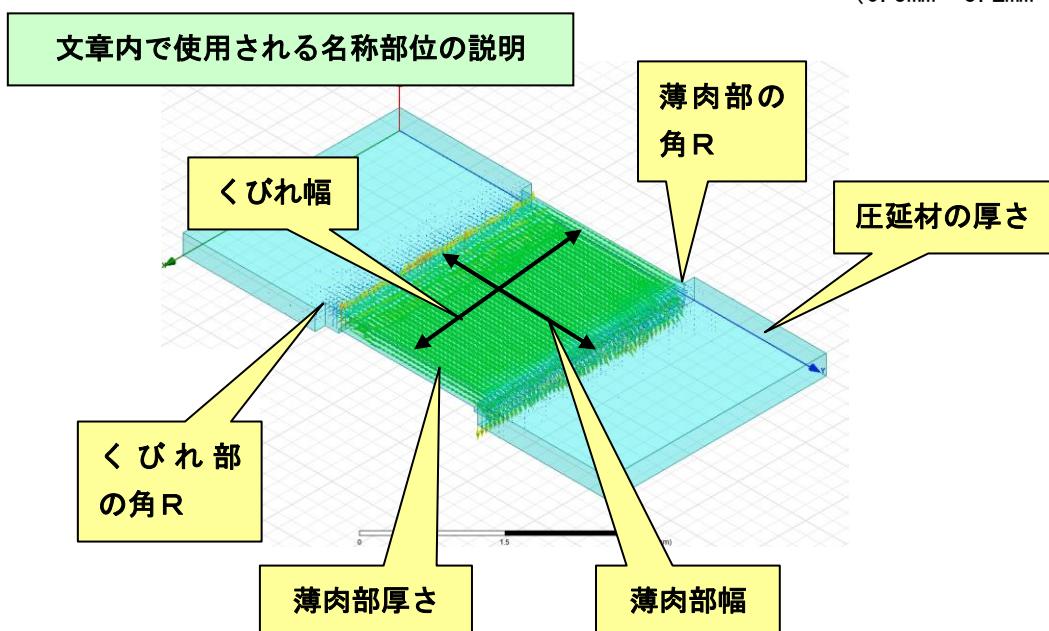
2-1 開発の実施状況

2-1-1 金属抵抗体の抵抗値シミュレーション技術の開発

本研究により設計・試作する金属抵抗体に関して、電磁場解析ソフトウェアを用いて抵抗値のシミュレーションを行った。シミュレーションにより金属抵抗体の形状安定性や体積抵抗率の影響を確認し、シャント抵抗器の設計に反映させ、試作後には実加工の形状安定性から再度設計値へのフィードバックを検討した。また、試作したシャント抵抗器を実験室で測定する方法と測定治具について検討した。



・シミュレーション結果
(6.3mm×3.2mm サイズ)



1) 形状安定性による影響の確認

金属抵抗体の体積抵抗率が確定していない段階であったことから、体積抵抗率には一次試作品の実績値を設定し、当初の設計形状である厚さ 0.25mm の 6.3mm×3.2mm サイズにおいて加工等による形状安定性（形状のズレ・ダレ等）が抵抗値に与える影響を確認した。

① 薄肉部の厚さと抵抗値

異形溝部加工による金属抵抗体の薄肉部の厚さと精密プレス加工による“くびれ部”の幅の変化による影響を確認するため、加工による角 R 等の無い理想的な形状での抵抗値の変化量を確認した。

② プレス加工による“くびれ部”の角 R および異形溝部加工の角 R と抵抗値

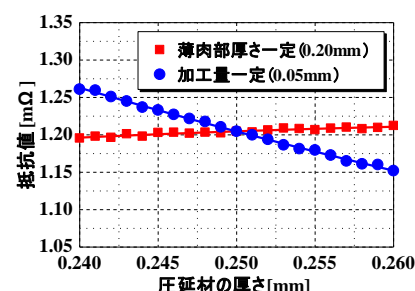
全体の形状寸法の次に、各加工によるエッジ部分のダレの影響を確認するため、プレス加工による“くびれ部”の角 R および異形溝部加工の薄肉部の角 R の変

化の影響を確認した。

③ 母材（圧延材）の厚さの変化と抵抗値

今回試作するシャント抵抗器は、圧延された金属抵抗体に異形溝部加工およびプレス加工を施すことにより製造することから、異形溝部加工の加工量の他に圧延された金属抵抗体（母材）そのものの厚さの精度も要求される。

そこで、圧延された金属抵抗体の厚さを変化させた場合における抵抗値の変化について、異形溝部加工の制御方法が“薄肉部の厚さ一定”と“異形溝部加工の加工量一定”の二種類の場合で確認した。右図にシミュレーションを示す。



・母材（圧延材）の厚さと抵抗値

④ めっき処理の厚さと抵抗値

シャント抵抗器に限らず素子の電極表面は、腐食等の防止のため“めっき”等による表面処理が必須である。そこで、電極表面の“めっき処理”によってシャント抵抗器の抵抗値に及ぼす影響を確認した。

⑤ 抵抗体の電極（接触位置）と抵抗値

上記①から④までは全て電極面が全面接触した条件下でのシミュレーションであったが、加工不良や接合不良等により電極が全面接触せずに抵抗器の電極間の距離が広がる等の影響が出る可能性がある。また、基板実装前に抵抗体単品で抵抗値を測定する場合、プローブ等でクランプすることから、プローブ等の接触位置によって測定値に影響が出る可能性がある。そこで、接触する電極位置を異形溝部加工による“くびれ部”直前の位置から徐々に間を開けて離していった場合における抵抗値への影響を確認した。

以上のことから、本研究で開発するシャント抵抗器の抵抗値は異形溝部加工による薄肉部厚さの変化による影響が特に大きいことを確認した。

2) 6. 3mm×3.2mmサイズでの1mΩ形状についての検討

一次試作の後、金属抵抗体の体積抵抗率が決定したことを受け、6.3mm×3.2mmサイズにおいて体積抵抗率の違いが抵抗値に及ぼす影響を確認した。さらに目標である1mΩのシャント抵抗器の実現に向け、6.3mm×3.2mmサイズで抵抗値シミュレーションを行い、1mΩを実現するための新たな設計値（圧延材の厚さ及び薄肉部の厚さ）を算出した。

① 体積抵抗率と抵抗値

一次試作時の体積抵抗率と、最終的に決定した体積抵抗率の差による影響を確

認するため、一次試作品の形状である 6.3mm×3.2mm サイズにおいて、両抵抗率における薄肉部の厚さと抵抗値の関係を確認した。

その結果、今回の抵抗体の形状では、体積抵抗率の違いによる抵抗値の差は、ほぼ 0.45% の違いであった。また、今回のシミュレーション結果から一次試作品の実測値との整合性も確認できた。

② 6.3mm×3.2mm サイズの形状検討

当初設計した母材（圧延材）厚さ 0.25mm の 6.3mm×3.2mm サイズにおいてシミュレーションした結果、母材厚さが 0.29mm、薄肉部厚さ 0.24mm（異形溝部加工量 0.05mm）において約 1mΩ になることを確認した。

以上のとおり、シミュレーションの結果、1mΩ を実現する形状として、6.3mm×3.2mm サイズにおいて、母材厚さ 0.29mm・薄肉部厚さ 0.24mm を提案し、この形状を基本として本研究事業の二次試作をすすめた。

3) 6.3mm×3.2mm サイズより小さいサイズ及び 1mΩ～10mΩ の形状についての検討

6.3mm×3.2mm サイズと同様な検討を行い寸法形状を確定した。

2-1-2 金属抵抗体形状高精度成形技術の開発

・金属抵抗体の高精度圧延技術、高精度圧延加工及び高精度切削加工による薄肉部加工技術の開発

本研究では合金の溶解・連铸・圧延・異種金属とのクラッド材加工技術を応用し、この事業の目標とする、銅合金からなる金属抵抗体の製造プロセスを構築する。それを基に SMD 実装超小型シャント抵抗器の抵抗値を決定し、合金の溶解から圧延プロセスの加工技術並びに抵抗値を決定する超精密寸法加工技術構築を行った。

研究の過程で、いろいろな要素が固有抵抗に影響することが分かってきたが、1mΩ ± 1% を量的製造で保証する道筋として下記 1)～5) で要約される。

1) 銅合金のフープ材（呼称幅 6.3mm×厚み 0.29mm）の固有抵抗の安定化。

・連続铸造品の合金成分値の均一化

2) 1mΩ に対応した薄肉部厚さ Y の決定。

・フープ材抵抗値と薄肉部厚さ Y の相関調査。

3) 高精度溝加工設備の開発

4) 上記の精度確認の為に 0.1μm 単位の測定方法の確立。

・加工時のリアルタイム測定。

・測定機器のキャリブレーション。

5) 体積抵抗率の測定方法と管理基準

- ・ 金属抵抗体である平板の管理方法を確立する。

1) 銅合金のフープ材（呼称幅 6.3mm × 厚み 0.29mm）の固有抵抗の安定化。

- ① 銅合金内の他金属成分が及ぼす固有抵抗値の影響を調査した。
- ② 銅合金内の他金属成分の安定化
- ③ 圧延加工率が及ぼす固有抵抗値の影響
- ④ 圧延板厚 t 精度
- ⑤ スリット幅 W 精度

2) 1 mΩ に対応した薄肉部厚さ Y の決定。

1 mΩ に対応したフープ材抵抗値（断面寸法一定時）と薄肉部厚さ Y の相関調査に基づき、薄肉部厚さ Y を決定した。

3) 高精度溝加工設備の開発

- ① 加工精度仕様

板厚、幅寸法については既存技術の延長で対応可能の為、薄肉部厚さ Y 寸法を検討した。

- ② 異形状加工方式の選定

新規開発した溝加工専用機を導入して溝加工の精度向上を行った。

4) 体積抵抗率（固有抵抗値）の測定方法と管理基準

金属抵抗体である平板圧延プロセスにおいて、公称抵抗値を決定する体積抵抗率（銅合金成分含有量並びに圧延材幅と板厚寸法を含む 1 立法 m 当たりの抵抗値 = $\Omega \cdot m$ で表す）を測定する方法と管理基準を定めた。

- ・ 測定器の選定、測定治具の製作・確認（測定端子形状も含む）を用いて抵抗値を測定した。（下図が測定器）

測定器：



5) 金属抵抗体（フープ材）のくびれ部（角穴）加工

ハイテクプラザでのシミュレーションで得られた 6.2mm × 3.2mm サイズ 1 mΩ 製品化に向け、試作品 10 個 / 1 ショットの試作金型を設計、製作実施。

- ・ くびれ部寸法 (W0) = 2.9 mm は樹脂充填用角穴抜きプレス加工金型及び新設備プレス機を使用して目標の角穴加工が出来た。

2-1-3 熱硬化性樹脂超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被膜技術の開発

1) 熱硬化性樹脂の基礎物性の測定

・本事業で使用する熱硬化性樹脂について、シミュレーションに使用する、軟化温度、粘弾性、粘弾性の径時変化、PVT特性（圧力—体積—温度特性）などの基礎物性を測定した。また、熱硬化性樹脂の硬化挙動をDSC（示差走査熱量計）で測定した。その結果、等温120℃では硬化しないことが分かった。しかし、等温140℃では短時間で発熱が観察されることから、瞬時に硬化が生じることが分かった。その結果、高温（110℃）では粘度が低いこと、時間とともに粘度が上昇する様子が伺える。これは、熱による硬化が生じて粘度が高くなり、弾性率も増加することが示唆される。

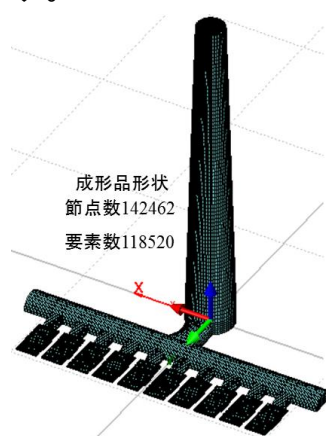
2) 10個及び80個同時成形を前提とした熱硬化性樹脂超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被膜技術の開発

① これまでの予備実験で得られた知見を基に、幅6.3mmのフープ材に対して、樹脂厚さ0.05mmの超薄肉アウトサート成形を行う10個取りの試作金型を設計、製作を行った。

・射出成形シミュレーションシステムを用いてシミュレーションを行い、実成形との差からパラメータの補正を行った。

これにより10個取りについて実成形とシミュレーションを一致させた。

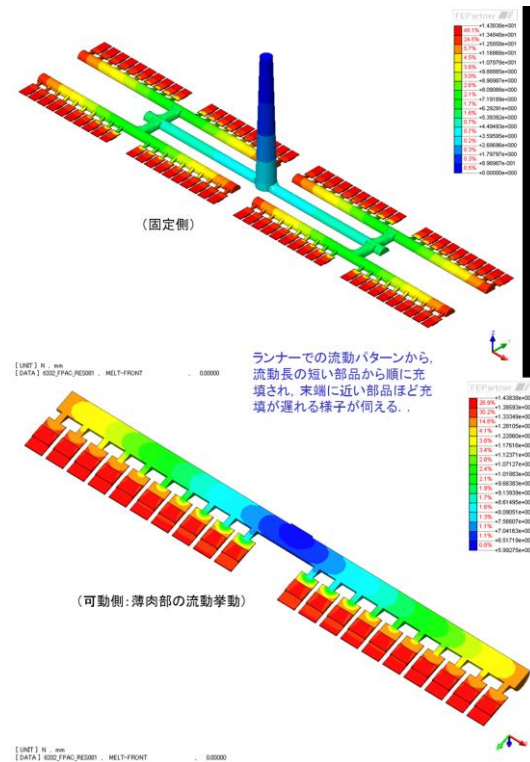
② 10個取りの試作金型について、超薄肉アウトサート成形シミュレーションを行い、最適な成形条件を求めた。成形条件を変えながらシミュレーションを行い、金型構造の検討と最適成形条件の設定を行った。一例としてシミュレーションを下図に示す。



・10個取り成形品・部品形状

3) 80 個同時成形を前提とした熱硬化性樹脂超薄肉アウトサート射出成形による絶縁被膜技術の開発

①10 個取り金型による超薄肉アウトサート成形シミュレーション結果を基に、80 個取り金型によるシミュレーションを行い、最適な成形条件を求め、80 個取り試作金型にフィードバックした。まず、流動解析を行い、樹脂の流動挙動を予想した。各種のシミュレーションを行った結果を基に成形条件を決定した。



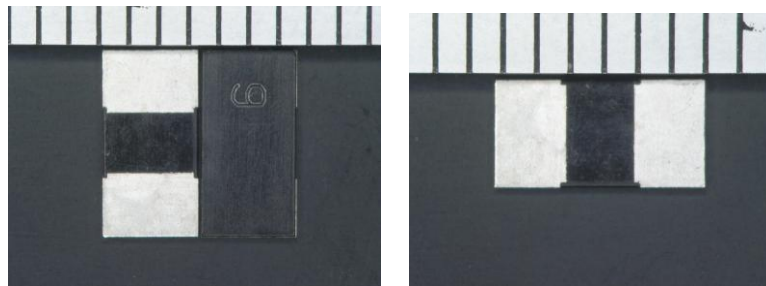
・ 流動パターン

- ・ 超薄肉アウトサート成形シミュレーション結果を基に、80 個取りアウトサート成形金型の基本設計、製作を行うために、ランナー部に温度センサおよび圧力センサを配置して、成形加工中の充填挙動を調べた。
- ・ 超薄肉アウトサート成形シミュレーションによる成形条件で成形実験を行い、金型内樹脂温度の測定と、ショートショットサンプルの作製を行った。
- ・ 80 個取り金型において、実成形における金型内樹脂温度データと、ショートショットサンプルをシミュレーション結果と比較検討した。まず、前述のショートショット実験より、計算に最適な樹脂粘度値を決定した。この値は、せん断粘度の測定結果よりも 36% 低い値となることが分かった。粘度を変化させることで、実際の成形現象を再現できた。

これらにより、シャント抵抗器の絶縁被膜のための、熱硬化性樹脂の超薄肉ア

ウトサート成形について、シミュレーションによる金型構造や成形条件の決定手法を確立した。

- ・上記の結果から、必要に応じて金型の修正などを行い、樹脂の充填不足や剥離などの外観不良を改善し、80個の金属抵抗体に対し同時に熱硬化性樹脂で絶縁被膜を施す技術を開発できた。
- 4) 80個取りのシミュレーション結果を基に、幅6.3mmのフープ材に対して80個取りの量産対応金型の設計、製作を行った。



・ シャント抵抗器完成品（6.3mm×3.2mmサイズ）

2-1-4 シャント抵抗器の信頼性評価

1) シャント抵抗器の抵抗値評価

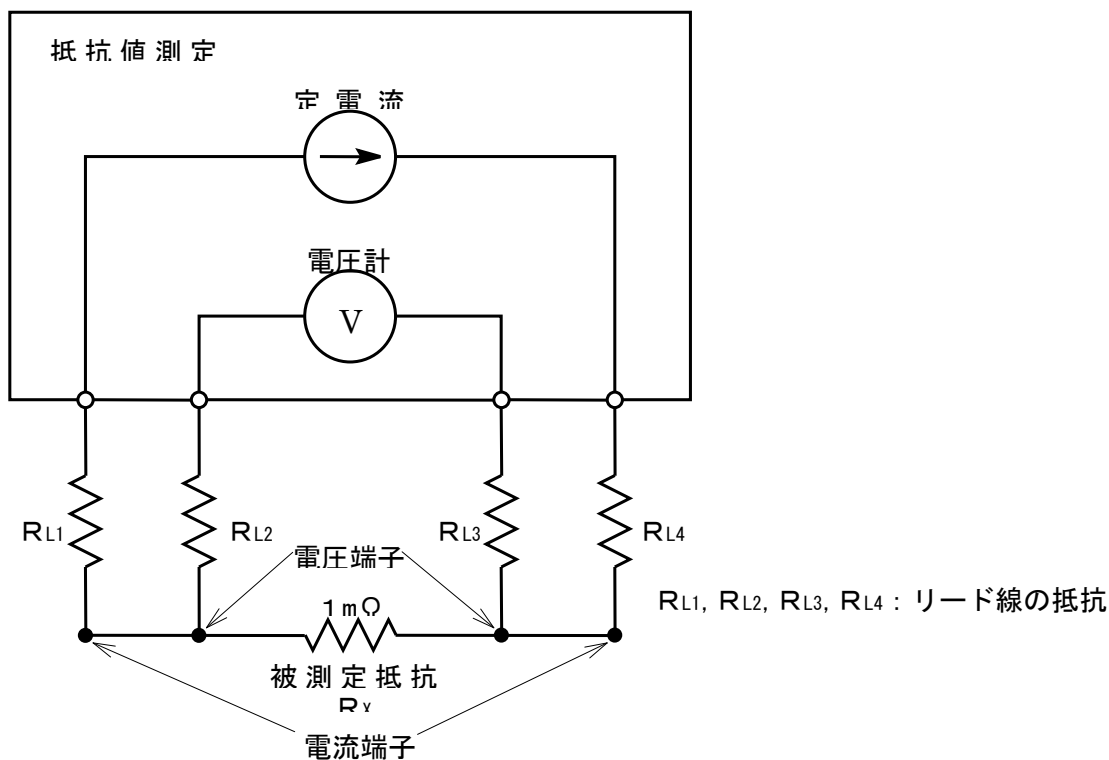
- ・試作した6.3mm×3.2mmサイズのシャント抵抗器について、標準抵抗器とデジタルマルチメータを用いて高精度の抵抗値測定を行い、抵抗値精度±1%の目標を達成しているか統計的に評価を実施した。

① 低抵抗値抵抗器の測定方法

低抵抗値測定は、測定しようとする抵抗器と測定器との間を、4本のリード線で接続する方法で行う。

測定しようとする抵抗器両端の外側の接続点を電流端子とし、その内側の接続点を電圧端子として測定する。（下図参照）

この方法は一般的に**四端子法**と呼ばれる。



② 測定系

前記した抵抗値の測定方法を実現するための測定系を構成した。

測定系は、パーソナルコンピューターと電流源及びデジタル・マルチメータを GP-IB で結び測定のコントロールを行っている。

電流源には、コンピューターによって電圧・電流値及び極性のコントロールができるプログラマブル直流安定化電源を使用した。

この電流源と、測定治具にセットしプロービングされた被測定抵抗器及び 10mΩ の標準抵抗器を直列に接続し、デジタル・マルチメータによりそれぞれの電圧を測定し、コンピューターに読み込み、演算処理を行い被測定抵抗器の抵抗値を表示、プリントアウトさせるようになっている。

③ 測定結果

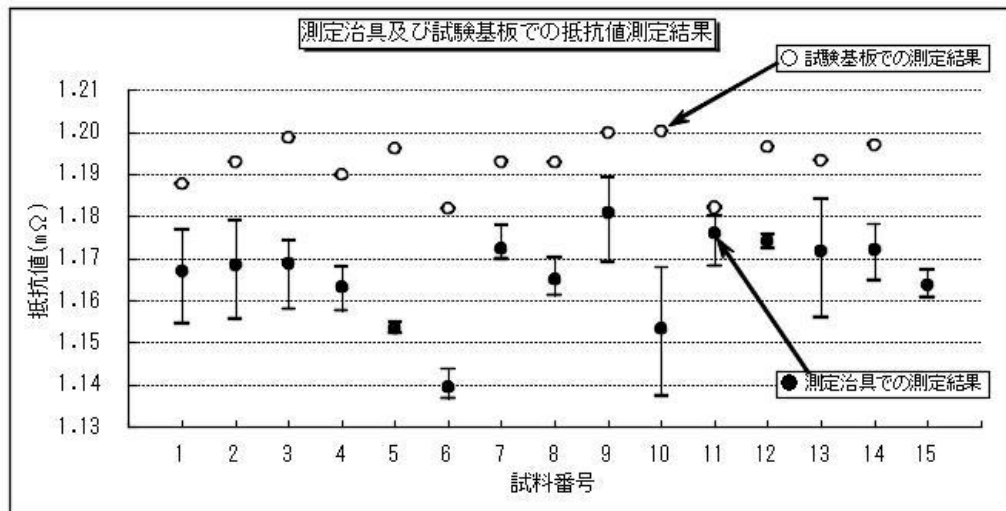
6. 3mm×3. 2mmサイズのシャント抵抗器を測定治具及びテスト基板を用いて測定した。

- ・シミュレーション設計値と測定基板上で測定した抵抗値は、多少のズレがあり、概しては基板上測定の方が、低くなる傾向にある。

単品のプロービングでの測定の場合、基板上での測定との誤差が、大凡 0.35m

$\Omega \sim 0.40\text{m}\Omega$ 程度となっている。

この誤差の主な要因は、電圧端子から設計上で抵抗値に寄与すると考えられる溝部分までの距離(約 0.7mm)によるものと考えられる。



- ・新規に測定治具を製作し、測定を行った結果では、テスト基板にはんだ付けを行って測定した場合よりも、最大で5.6%低い値となっている。さらに、繰り返し測定でのばらつきも3%程度になっているため、さらに測定治具の構造に関しては検討する。

⑤ 2次試作品 (6.3mm×3.2mm サイズ) の抵抗値測定 (プロービング法) 結果。

シミュレーション解析結果に基づき板厚さを、0.25mm から 0.29mm に設計変更し、新規スカイピング加工機で薄肉部 0.24mm に加工されたフープ材が完成した。このフープ材で 80 個取り射出成形金型で、薄肉アウトサート射出成形を行ったシャント抵抗器の抵抗値測定を行った。測定方法は、新規製作した測定治具で行った。

- ・測定結果は、目標にしている 1 mΩ に対し、平均値で 0.97 mΩ が確認された。この解析結果は、ばらつきは小さくなっており、量産化できる見込みになった。今回は新規測定治具を使用してプロービング法で行った。PWB に実装した状態 (はんだ付け) で測定すると測定値が約 3% 高くなるのが、過去の測定で確認されている。そのことから目標の 1 mΩ は、ほぼ達成出来たと言える。

- ・プロービング治具での測定値は、平均値 0.971 mΩ であったが、PWB ハンダ付け実装測定では、平均値が 1.003 mΩ で高めとなる。

PWB ハンダ付け実装測定値を実使用時も真の抵抗値と判定される。この差異の結果からプロービング治具の測定値の安定測定値・繰り返し再現性への改善は今後継続課題である。

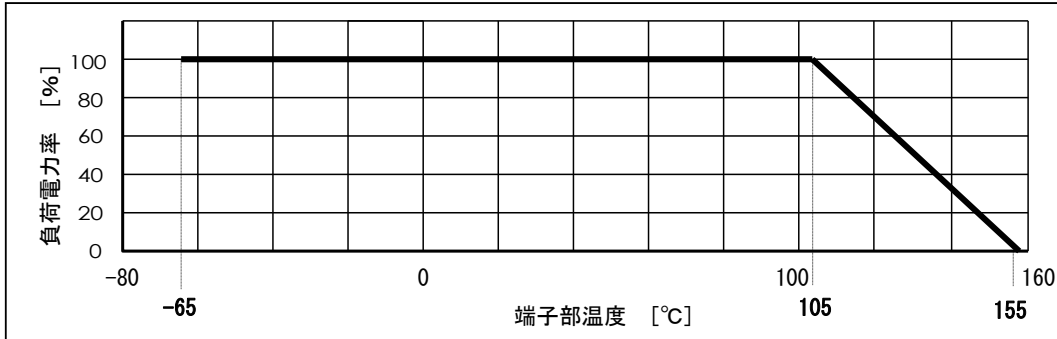
2) シヤント抵抗器の信頼性評価

- ・ 量産を前提とした条件により試作した 6.3mm×3.2mm サイズ（文中等で 6332 の表記もあるが同じ意味を表す）のシヤント抵抗器について、品質保証に必要な信頼性試験を行う。実装試験では、鉛フローはんだのリフロー炉による実装試験を行い、樹脂の剥離、めっきの剥離発生の有無を試験する。冷熱衝撃試験は、シヤント抵抗器単体と、テスト基板に実装した状態での試験を行い、樹脂の剥離、めっきの剥離、はんだの割れ発生などの有無を試験する。また、J I S C 5 2 0 1 に基づき信頼性試験を行った。

シャント抵抗器 信頼性試験

試料名	6332-1mΩ (一次試作品)
-----	------------------

製品特性 (使用温度軽減曲線)



動作保証温度範囲	-65°C~+155°C (フル負荷105°C)
----------	--------------------------

試験項目	試験方法 (試験条件)	試験状態
短時間過負荷	2Wに相当する電圧を5秒間印加する。(常温)	テスト基板
はんだ耐熱性	260°C±5°C 15秒間	テスト基板
熱衝撃	-55°C (0.5h) / +125°C (0.5h) 1000サイクル	テスト基板
低温寿命 (無負荷)	-65°C 96時間	テスト基板
高温寿命 (無負荷)	+155°C 1000時間	テスト基板
耐湿負荷寿命	85°C±2°C、85%RH、1000時間、定格電圧の10%印加	テスト基板
高温負荷寿命	端子部温度105°C、1000時間、規定電圧を1.5h(ON)0.5h(OFF)	テスト基板

試験条件計算値

電圧印可試験を実施する際には、下記表の電流値を参考に試験条件を決定する。

	定格	耐湿負荷 10%	短時間過負荷 2W
抵抗値	0.001 Ω	0.001 Ω	0.001 Ω
負荷電力	3 W	0.03 W	2 W
電圧値	0.0548 V	0.0055 V	0.0447 V
電流値	54.77226 A	5.477226 A	44.72136 A

信頼性試験は JIS C 5201 に準拠した項目 (上記試験項目) を実施し全て合格した。

2-1-5 高性能小型シャント抵抗器製造技術に係る基礎技術の開発

1) 高性能小型シャント抵抗器に使用する金属抵抗体の三次元形状の決定

- ① 高性能小型シャント抵抗器の抵抗材料と金属抵抗体形状について、電磁界シミュレーションを行い、抵抗値 $1\text{ m}\Omega$ 、 $2\text{ m}\Omega$ 、 $3\text{ m}\Omega$ について推奨される材料と形状を決定した。

2) 高性能小型シャント抵抗器に使用する金属抵抗体の試作

- ① 高性能小型シャント抵抗器に使用する幅 3.2 mm 薄肉部幅 1.0 mm 、幅 2.0 mm 、薄肉部幅 0.6 mm 、のフープ材料を試作した。

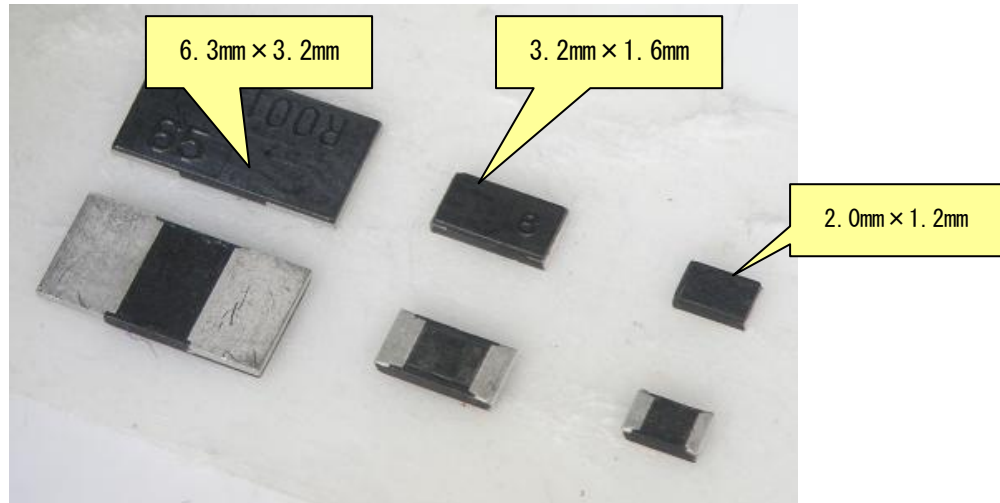
・現在幅 6.3 mm のフープ材料で薄肉部厚さ 0.24 mm をスカイビング加工で行っているが、精度 $\pm 0.001\text{ mm}$ が確保出来ていない。今後スカイビング加工機を改善し精度確保を行う計画である。この結果を踏まえ幅 3.2 mm 及び幅 2.0 mm のフープ材料に薄肉部加工を行う計画である。

- ② 2-1-3 1) 項で実施した幅 6.3 mm のプレス加工実験結果を基に、高性能小型シャント抵抗器の製造に使用する、金属抵抗体のくびれ部形成に係る角穴加工プレス金型の基本設計及び幅 3.2 mm のフープ材、幅 2.0 mm のフープ材の薄肉部にプレス加工を行い、プレス加工条件の確認とくびれ部幅の寸法精度の評価を行う。幅 3.2 mm フープ材のくびれ部幅 $1.6 \pm 0.003\text{ mm}$ 、幅 2.0 mm フープ材の抵抗体幅は $1.0 \pm 0.002\text{ mm}$ の加工精度を目標とした。

・試作品は完成することは出来たが、前述 2-1-5 1) ①項と同様な計画で今後進めて行く。

3) 高性能小型シャント抵抗器に使用するフープ材への超薄肉アウトサート成形

- ① 高性能小型シャント抵抗器に使用する、幅 3.2 mm のフープ材と幅 2.0 mm のフープ材に対するアウトサート成形実験を行った。金型部品を交換することで、幅 3.2 mm と幅 2.0 mm のフープ材を共用できる 10 個取り程度のアウトサート成形金型の基本設計及び熱硬化性樹脂で絶縁被膜を施す技術を開発した。



・ 右から、2.0mm x 1.2mm・3.2mm x 1.6mm・6.3mm x 3.2mm サイズの試作品

2-1-6 研究成果の知的財産化

1) 研究成果物に関する特許調査

シャント抵抗器の設計及び製造技術に関連する公知文献（特許含む）の調査を行い、本事業実施に際し問題ないかを確認した。

- ・ 抵抗器の溝部と切欠部による形状に特徴があることから、意匠登録が可能か否か、先行意匠調査を行った。その結果、意匠登録出願すれば権利化されることが判明した。

2) 研究成果物の知的財産化

プロジェクトの成果として意匠登録3件及びPCT国際特許1件を出願した。

2-2 まとめ

このサポイン事業は当初目標の90%は達成できた。未だ達成出来ていない事項があるが超小型シャント抵抗器の目標としていた抵抗値が達成できる見通しがついた。今後は量産化に向けた設備の精度向上、製造技術の更なる向上を図る必要がある。これらを達成するため補完研究等により研究開発を継続する。

本サポイン事業では、福島県内企業の協力の下、新規シャント抵抗器を開発することができた。又、開発にあたっては、材料の製造（銅合金の溶解鑄造）製品化まで、福島県内の中小企業により製品化することができた。

経済産業省東北経済産業局をはじめ、ご支援を頂いた関係機関のご協力に対し、深く感謝致します。