

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「アラミド薄織物を用いた次世代型電子基板の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成26年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人石川県産業創出支援機構

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1-2	研究体制（研究組織・管理体制・研究者氏名）・・・・・・・・	6
1-3	当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・	9

第2章 本論

2-1	均一なアラミド繊維の開繊装置及びアラミドテープ製造技術の開発・・・・	10
2-2	アラミド薄地織物の製織技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・	11
2-3	アラミド繊維織物を利用した熱硬化性樹脂複合基板加工技術の開発・・・・	12
2-4	基板の実用化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	13
2-5	事業化検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	15

第3章 全体総括

3-1	均一なアラミド繊維の開繊装置及びアラミドテープ製造技術の開発・・・・	17
3-2	アラミド薄地織物の製織技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・	17

3-3	アラミド繊維織物を利用した熱硬化性樹脂複合基板加工技術の開発	18
3-4	基板の実用化	20
3-5	事業化検討	23
3-6	まとめ	23

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景及び目的

次世代を担う医療機器、電気自動車、航空機の産業分野では、動作信頼性を確保した上で高性能化が求められている（図1-1-1）。これらの産業で活用される電子機器でも、

通信速度や通信効率の向上による高性能化、高い動作信頼性が要求されている。電子基板はその生産コスト等によりガラス繊維／エポキシ樹脂基板（ガラエポ基板）の独壇場になっているが、次世代型の要求に対して、ガラス繊維は誘電率が高いため、誘電率に起因する損失（信号の歪み易さ）が大きくなり、ガラエポ

基板で通信速度を向上させるのは困難な状況にある。また、熱膨張率が高く、熱ストレスを受けやすいため、電子機器の動作信頼性を向上させるために、新たな基板材料の開発が期待されている。

現在の電子基板は、ガラス繊維にエポキシ樹脂を含浸させたものが一般的である。しかし、ガラスは周囲のエポキシと比較して誘電率が高いため、次のような課題がある。

- ・ 伝播信号が歪み易い（動作不良の要因）

ガラス繊維の織りムラによりガラスとエポキシの比率が変化すると、基板内で微視的に誘電率が変わるため、基板配線の特性インピーダンスが場所によって変化する。そのため、伝播する電気信号は特性インピーダンスが変化する場所で反射し、伝播信号が歪む。これにより、信号が適正に伝播せずに、機器の動作不良が生じたり、歪んだ信号が電磁ノイズとなり、他の電子機器に悪影響を与えることがある。

- ・ 伝播速度が遅くなる（高速通信の限界）

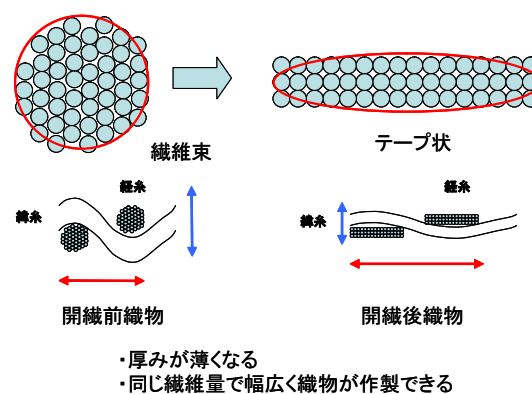
電気信号の伝播速度は、電子基板の誘電率を低くすることで向上するため、製品の高性能化を実現するには、誘電率を低くする必要がある。

本研究では、次世代電子機器の要求を実現するために、アラミド繊維とエポキシ樹脂による電子基板の開発を行う。



図 1-1-1 次世代の基板への要求

アラミド繊維は、軽量、低誘電率、低熱膨張とガラス繊維より優れた特性を有する素材であるが、アラミド繊維の原糸が高コストであり、アラミド繊維は数千本の糸束からなるため、その織物が厚く、なかなか基板用の基布に採用されなかった。そこで、これまでアラミド繊維に対して、独自の開



織技術を開発した（図 1-1-2）。これは、従来の機械的開織技術では非常に難しかったアラミド単糸（数千本からなる束）を、個々の単糸に物質相関で発生する反発力を発生させ開織し、厚さ $30\mu\text{m}$ 、アスペクト $300/1$ （ヨコタテ比）の超扁平構造体のアラミドテープを生産する技術である。この技術により、アラミド繊維の原糸で、同じ繊維量で幅広く織物を製織することができ、また、その織物の厚みは薄くなる。このアラミド薄地織物を量産化させることで、基板への転用は期待できる。

平成22年度においては、財団法人石川県産業創出支援機構の新技术・新製品開発事業化可能性調査事業において、「アラミド繊維を使用した高機能超薄地織物の製造方法の開発」のテーマで、アラミド薄地織物を用いた積層板の特性を調査した。その結果、基本特性において、ガラス繊維・エポキシ樹脂積層板と比較して、熱的特性（XY方向の線膨張係数が小さい）、電気的特性（比誘電率が小さい）で有意差が見られ、アラミド薄地織物を用いた積層板の電子基板への可能性を見いだした。

ただ、製織技術については、いくつかの問題点があり、量産化には課題を残している。現在、一般的に生産されている太デニールのアラミド繊維を原料とした薄地広幅テープ生産技術および広幅テープを用いた薄地織物の製織技術は非常に難しく生産化には至っていない。

また、アラミド繊維織物を用いた基板の製造にも課題を残す。上記方法で製織した織物を基布にしたプリプレグの製造は、薄地のアラミドテープを経、緯に用いた織物のクリンプ率が小さいため樹脂の浸入圧力が掛かると移動しやすく、変形するためプリプレグを生産することが非常に難しい。さらに、アラミドはガラスと比較して材料的な優位性を持っているが、成形された基板としての物理的、熱的、電気的特性については、未知である。

1-1-2 研究開発の目標

従来のガラス繊維を用いた製品の代替として、より軽量で、熱安定性（耐熱性、低熱膨張性）を兼ね備えたアラミド繊維織物を用い、開織技術を駆使し、これまでより薄い織物を安定的に製造することで、次世代高速通信に対応できる基板用織物を開発する。併せて、その織物を用いた基板の開発を行う。

（１）技術課題１：均一なアラミド繊維の開織装置及びアラミドテープ製造技術の開発

開織技術について

従来の開織技術は、繊維束（以後、糸束）に圧力等の外力を作用させて糸束を押し広げる技術が一般的である。しかし、低速で、毛羽等が発生し、品位・糸の性能を損なう欠点がある。

それに対して新規開織技術では、低負荷で糸束内の単糸間に物質相関のみで発生する斥力を発生させ開織する事が出来、毛羽のない高品質な状態となり、引き揃え・再配列させることで、より均一で薄い開織糸ができる。

この開織方法で行うことで、100m/min 以上の高速生産化が可能となる。（図 1-1-3）本事業では、アラミドテープの生産に関連して、広幅に開織したテープの形状を安定化させるために、適正な樹脂（以下サイジング剤とする）の選択及び塗布技術の開発により

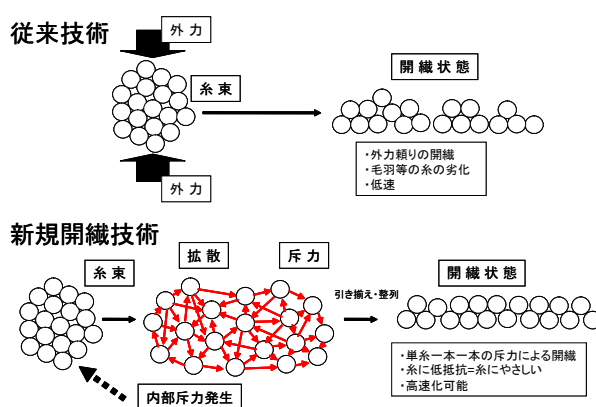


図 1-1-3 開織技術の概要

形状を安定化させる。さらに、コストダウンを図るために加工速度を高度化した新しい生産技術を目指す。

また、この開織糸を経糸および緯糸に用いた織物を製造することで、今までに無い薄く均一密度の開織糸織物の製造が可能である。そのため、アラミドテープを用いた織物を高品質かつ高効率的に生産する製織技術の確立を図る。

① 幅精度の高いアラミドテープ生産技術の開発

テープの幅を一定に生産することは、アラミド薄地織物の精度を高め、品質向上にもつながる。そのため、原糸の糸束を開織し易い様に制御する設備の開発を行う。

② アラミドテープを均一に安定させるサイジング技術の開発

開織したテープは安定した製織を行うため、幅や形状を一定に保つためのサンジグを行う必要がある。ここで、塗布するサイジング剤の量が重要で、その量が少なければ幅や形状を保てず、その量が多ければ後の各工程の張力により割れ等が発生し、品質低下を招く。そのため、適切なサイジング剤の塗布及び乾燥ができる装置の開発を行う。

（２）技術課題２：アラミド薄地織物の製織技術の開発

開織したアラミドテープを経系および緯系に用いた織物を製造することで、今までに無い薄く均一密度のアラミド薄地織物の製造が可能である。そのため、アラミドテープを用いた高品質かつ高効率的に生産する製織技術の確立を図る。

① 織物繊維密度の均質な織物生産技術の開発

目的としている電子基板用基布に望まれる条件として、織物繊維密度が均一であることが求められている。そのため、アラミド薄地織物の製織技術を向上させるために、高密度化技術開発を検討する。経系については、高密度化が可能な形状を持つヘルドを開発する。緯系では、通常の箆打ちでは、負荷が掛かりアラミドテープの変形・折れが生じたため、箆打ち抵抗を抑制した緯系高密度化装置を開発する。

② アラミド薄地織物連続生産技術の開発

製織では織物の品質と安定生産の確保が重要となる。アラミド薄地織物はテープ織機で製織される。使用される糸はリールに巻かれ、経系及び緯系として供給されるが、リール巻き量は 200m が最大であり、緯系の交換の度に織機を停止させなければならない。この緯系交換方法では、生産効率の低下とトラブル発生頻度の増加が懸念されるため、緯糸をチーズ状に巻き取り安定して供給できる方式の開発を行う。

（３）技術課題３：アラミド繊維織物を利用した熱硬化性樹脂複合基板加工技術の開発

これまではガラス・エポキシ基板が電子基板の主流であり、アラミド織物を用いた電子基板は無く、その製造技術の蓄積もない。そのため、本事業で開発するアラミド薄地織物を用いて、従来の電子基板に用いられていた熱硬化性のエポキシ樹脂を用いて基板の開発を行い、基板の成形技術や加工技術における技術構築を行って、生産性を目指す。

① アラミド長繊維織物を熱硬化性樹脂と相性の良いサイジング剤の選定

開織したアラミド薄地織物の表面には、サイジング剤が塗布されており、これが製織時には平滑性、プリプレグ作製時には繊維／樹脂間の接着性に影響する。そのため、製織時

には平滑性、基板加工では接着性に優れたサイジング剤について検討する。

② 熱硬化性樹脂の探索、樹脂含浸方法の開発、加熱真空積層熱プレス技術の構築

電子基板の量産品はその厚みが一定（約 1.6mm）で難燃性が要求される。そのため、アラミド繊維を用いた熱硬化性樹脂との電子基板成形加工には、接着性、厚み調整及び難燃性を評価し、検討する。

（４）技術課題４：基板の実用化

① 試作基板の物理的特性、熱的特性、高周波特性の計測・評価

電子基板を設計する上で必要となる物理的特性、熱的特性、電気的特性を明確化するため、物理的特性等の評価を行う。

② アラミド基板の加工（穴あけ加工、メッキ加工）技術開発、評価

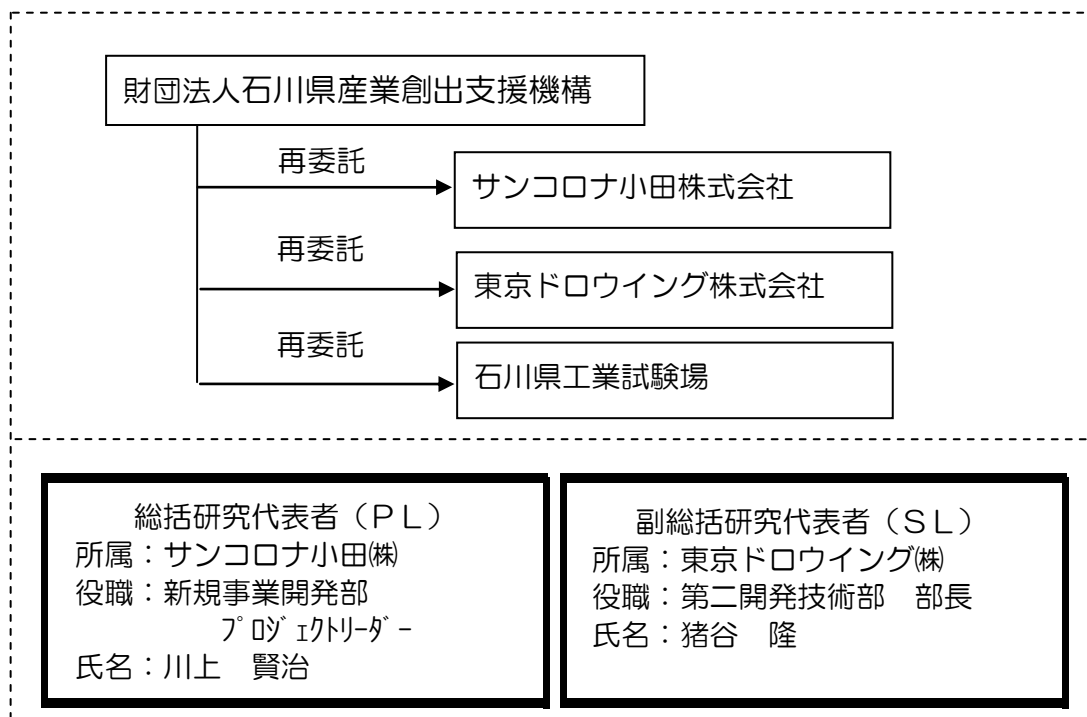
電子基板に要求される加工精度を実現するため、加工技術の開発、評価を行う。

③ 実動作確認用電子基板の設計・試作及び動作確認

高速伝送回路で必須となる特性インピーダンス $50 \pm 5 \Omega$ の基板配線を、①で測定した電気的特性を基にシミュレーションを行い、高速信号伝送及び高速処理を扱った電子基板を設計、試作製造し、部品搭載状態とあわせて動作特性を評価する。

1－2．研究体制

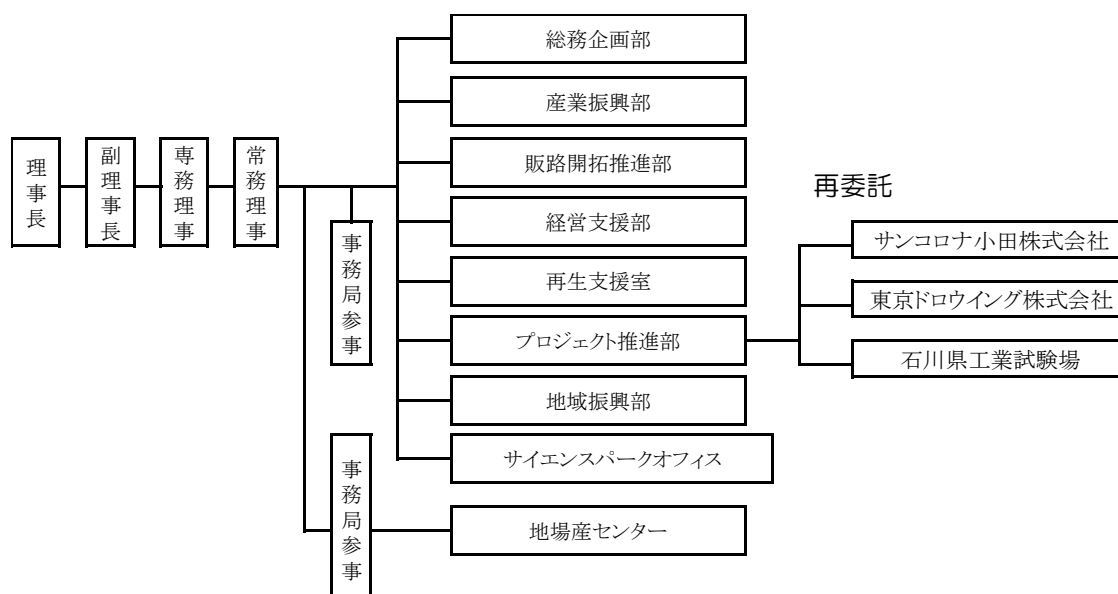
(1) 研究組織



(2) 管理体制

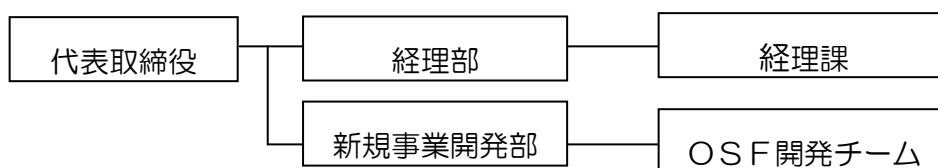
① 事業管理機関

財団法人石川県産業創出支援機構

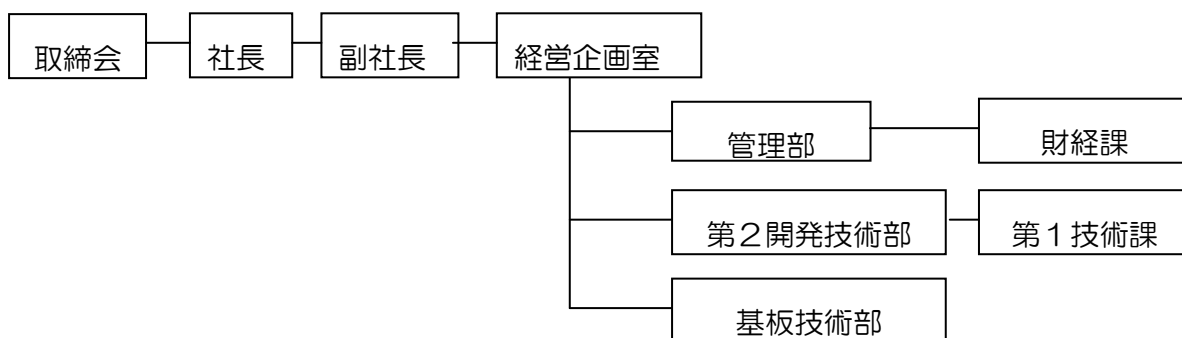


② 再委託先

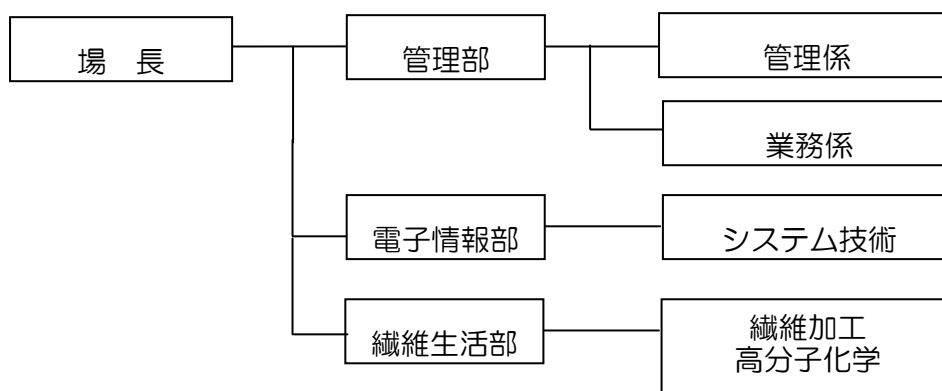
サンコロナ小田株式会社



東京ドロウイング株式会社



石川県工業試験場



(3) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 財団法人石川県産業創出支援機構

管理員

氏 名	所属・役職
井田 政晴	プロモーション推進部長
中尾 一也	総務企画部総務企画課長
中村 陽一	プロモーション推進部技術開発支援課 課長代理

【再委託先】

研究員

サンコロナ小田株式会社

氏 名	所属・役職
川上 賢治	新規事業開発部OSF開発チーム プロジェクトリーダー
唐澤 俊暁	新規事業開発部OSF開発チーム 係長
曾根 圭祐	新規事業開発部OSF開発チーム 研究員

東京ドロウイング株式会社

氏 名	所属・役職
猪谷 隆	第2開発技術部 部長
中谷 幸治	第2開発技術部第1技術課 課長
田村 宗聖	第2開発技術部第1技術課 チーフ
近藤 知大	第2開発技術部第1技術課
浦 誠幸	第2開発技術部第1技術課 チーフ
片桐 太	第2開発技術部第1技術課 チーフ
斉藤 茂	第2開発技術部第1技術課
東 一徳	第2開発技術部第1技術課
中村 公彦	基板技術部
中西 秀利	基板技術部

石川県工業試験場

氏 名	所属・役職
沢野井康成	繊維生活部繊維加工 主任研究員
吉村 慶之	電子情報部システム技術 研究主幹
神谷 淳	繊維生活部高分子化学 専門研究員
杉浦 宏和	電子情報部システム技術 主任技師
長谷部裕之	繊維生活部高分子化学 技師

1－3 当該研究開発の連絡窓口

(事業管理機関)

財団法人石川県産業創出支援機構

(経理担当者)	総務企画部 総務企画課長	中尾一也
(業務管理者)	プロジェクト推進部長	井田政晴

(再委託先)

サンコロナ小田株式会社

(経理担当者)	総務経理部係長	宮川丈寛
(業務管理者)	新規事業開発部 プロジェクトリーダー	川上賢治

東京ドロウイング株式会社

(経理担当者)	管理部長	飯塚邦男
(業務管理者)	第2開発技術部部長	猪谷 隆

石川県工業試験場

(経理担当者)	管理部総務課長	丸本 誠
(業務管理者)	繊維生活部長	田畑 裕之
	電子情報部長	漢野 救泰

第2章 本論

2-1 均一なアラミド繊維の開繊装置及びアラミドテープ製造技術の開発

(1) 幅精度の高いアラミドテープ生産技術の開発

[目標]

幅差△コンマ数 mm 以内、厚み数十 μm 以下の安定生産技術の開発を行う。

[実績]

開繊テープ幅・密度の品質向上を狙い、開繊工程の改良と開繊条件の改善を行った。

・テープ繊維密度均一化と均一幅厚テープ連続生産検討

24 年度の開発検討により狭窄部発生頻度を 1 回/数百 m に押さえ込む技術は完成しており、目標を達成している。このレベルで織物は特に生産および品質面で問題が無く管理できることも判明した。

テープ収束により繊維密度不均一と均一幅厚不良が発生しており、更なる品質向上のため、脱油工程の繊維の解きほぐしプロセスにおいてテープ収束部の削減の検討を行った。収束部の発生原因は原系に起因する繊維自身の絡みつきであり、開繊工程での解決は限界がある事がはっきりした。原系における解決策として単系の直径を大きくすると開繊性が良くなることがわかったが、テープの厚み増しさらにテープの割れが発生するのでこの手段は採用することができない。

・連続生産技術検討

上記の結果から、糸速数十 m/min での連続生産性を確認した。従来と同等の幅精度・品位が得られ、高速でのテープ生産技術を確立できた。

・織物試作・評価

糸速数十 m/min で試作したテープを用いて織物試作、評価を実施したところ従来の製造したテープの織物と差が認められなかった。

(2) アラミドテープを均一に安定させるサイジング技術の開発

[目標]

適切なサイジング剤の塗布及び乾燥ができる装置の開発を行う。

[実績]

均一に一定樹脂量を連続塗布出来るサイジング技術の検討を行い、基板製造時のマトリックス樹脂の含浸性が良いテープサイジング技術の開発を行った。

従来の巻き取り方法に加えて、入射するテープ面を抑えて巻き取る方法を検討した。その結果、数十 m/min で連続してサイジング、チーズ巻き取り技術を確立した。

(3) アラミドテープの連続高速技術の開発

[目標]

生産速度を約2倍に向上させる。

[実績]

連続チーズ巻取りを検討し、数千 m 連続巻取りを実施し、連続緯糸挿入用のテープのチーズ巻きを試作した。糸速数十 m/min で安定して開織させテープ上に引きそろえる技術を確立した。

2-2 アラミド薄地織物の製織技術の開発

(1) 織物繊維密度の均質な織物生産技術の開発

[目標]

経テープ間、緯テープ間の隙間の均一な織物生産技術を開発し、均一な密度の織物、厚み数十 μm 以下を目指す。

[実績]

- ・緯糸テープ引き揃え装置の設計・開発

- ・幅改善テープの織物評価と緯糸テープ挿入装置組み合わせ連続生産技術を開発した。

テープ幅の適正化技術と緯糸引き揃え装置を組み合わせ、実際の織機にて厚み数十 μm の均質な織物生産技術を確立した。

(2) アラミド薄地織物連続生産技術の開発

[目標]

緯糸テープをチーズ状に巻き取り安定して供給できる方式の開発を行う

[実績]

緯糸テープチーズからの緯糸テープ供給の適正化の検討を行った。テープ緩み、捻じれを解消することにより緯糸テープを連続挿入し、織機挿入速度数十 rpm で数千 m を連続して挿入できる技術を確立した。

(3) アラミド薄地織物の高速連続生産技術の開発

[目標]

製織速度を約4倍にする。

[実績]

緯糸テープ巻き量の大きいチーズ供給方式を用いて数十 rpm の製織技術を検討した。

織物耳部の乱れ問題の無いレベルの製織技術を確立した。

アラミド繊維広幅テープを経、緯に使用して、厚さ数十 μm の薄地テープ織物を製造する技術を初めて確立することができた。

2-3 アラミド繊維織物を利用した熱硬化性樹脂複合基板加工技術の開発

(1) アラミド長繊維織物を熱硬化性樹脂と相性の良いサイジング剤の選定

[目標]

アラミドテープ表面のサイジング剤のプリプレグ樹脂との相溶性を検討する。

[実績]

マトリックス樹脂の含浸性が良く空気残留部（以下ボイド）が発生しないテープ・織物の開発としてエポキシ剤を塗布するテープサイジング方式の検討を行った。繊維・繊維間にボイドを残さないために、サイジングで樹脂を塗布後ローラーに挟み込んで加圧するディップ方式の検討を行った。しかしながらこのディップ方式でも繊維・繊維間の小さなボイドを押し出すことは難しく限界があることが判明した。

ボイドは長期品質面で電気特性の問題が起こるので基本対策が必要である。

今後は繊維間に空気を残さない対策として、半硬化プリプレグの状態で作成可能なテープ化を行うことにより達成できると考えている。そのために、新規のエポキシ樹脂および樹脂と溶剤による樹脂適正粘度を評価し最適解の探索を行う。

(2) 熱硬化性樹脂の探索、樹脂含浸方法の開発、加熱真空積層熱プレス技術の構築

[目標]

アラミド薄地織物と熱硬化性樹脂との基板における加工性を評価する。

[実績]

基板用プリプレグの積層と成形における加える温度と樹脂硬化条件の適性化検討と織物の目ズレ・目開きが発生しない加圧条件を検討した結果、ガラス転移温度付近で、成形

状態に大きく影響することがわかった。また、試作した成形基板について拡大顕微鏡で表面観察した結果、加工条件により繊維・樹脂フローの状態が異なることが確認できた。なお、熱硬化性のサイジング・目止め剤を用いる場合は、さらにボイド対策が必要であることが確認された。

2-4 基板の実用化

(1) 試作基板の物理的特性、熱的特性、高周波特性の計測・評価

[目標]

アラミド基板における電気的特性を明確化する。

[実績]

① 物理的特性の評価

ガラス基板に対しアラミド基板は寸法変化率が小さいことがわかった。また、重量を比較した結果、アラミド基板が軽量であることを確認した。

② 電気的特性の評価

試作したアラミド基板とガラス基板について誘電率、特性インピーダンス、透過特性、伝播時間、絶縁性を計測、評価した。その結果、ガラス基板に比べアラミド基板は低誘電率であることがわかった。これに伴い、アラミド基板の方が電気信号の伝播速度も速くなる傾向にあった。特性インピーダンスは、シングルエンド線路、差動線路ともに、設計値 $\pm 10\%$ 以内にコントロールできる基板となった。透過特性、絶縁性に関しては、両者に計測による数値的な評価として、大きな違いは確認できなかった。

(2) アラミド基板の加工（穴あけ加工、メッキ加工）技術開発、評価

[目標]

$\phi 0.3\text{mm}$ 以下の穴あけ加工が可能な条件を明確化する。

基板にあけた穴をメッキ加工により導通させる。

[実績]

① 穴あけ加工条件の検討

$\phi 0.3\text{mm}$ 前後のドリルを用いて穴あけ加工を実施した。その結果、それぞれのドリル回転速度、送り速度をガラス基板と同じ条件とすることで、毛羽のない良好な加工ができた。したがって、非常に硬いとされるアラミド基板ではあるが、特殊な工具や

加工条件は必要なく加工できることがわかった。

② めっき加工条件の検討

無電解銅めっきを数 μm 程度行った後、電解銅めっきを数十 μm 行った。断面等を観察した結果、欠陥が見られず、導通性も良いスルーホールが形成できた。

(3) 実動作確認用電子基板の設計・試作及び動作確認

[最終目標]

特性インピーダンスを数十 $\pm 5\Omega$ 以内に調整した実動作確認用電子基板を設計・試作し、動作を確認する。

[実績]

① 動作確認用電子基板の設計・試作

アラミド基板の配線インピーダンスは、マイクロストリップ線路にて配線設計条件を変更することによりインピーダンスのコントロールが可能であることがわかった。テスクーボン基板の評価にてプレス条件を基準とし、アラミド基板でもライン幅をコントロールすることで設計値により近いインピーダンス値にて試作することが可能であることを導き出した。実際にアラミド基板上に電子回路を搭載して、回路動作させることでアラミド基板の優位性を見出すことを目的とした実動作確認用8層電子基板を試作した。インピーダンス特性については、すべての層のインピーダンスラインについて設計インピーダンス値の $\pm 10\%$ の変動幅におさめることができ、アラミド基板にて特性インピーダンスを調整した多層基板を製造できることが確認できた。

② 実動作確認用基板の評価

② -1 部品実装評価

アラミド基板に電子部品（コネクタ、抵抗、コンデンサ、LED、IC 等）を搭載して実装状態を、目視・X線にて検査し問題なくハンダ実装できていることを確認した。

② -2 電気特性評価

部品搭載済みのアラミド基板について電気特性評価を実施しガラス基板と比較した結果、配線インピーダンスの安定性は劣るものの高周波特性、エラーレート特性、ジッタトレランス特性についてはガラス基板よりアラミド基板の方が優位である結果が得られた。更に一般電気製品に使われている USB3.0 の汎用インタフェースがアラミド基板上で動作可能であることを確認することができた。

2-5 事業化検討

市場メーカーにおいて基板および実装基板の評価を行いアラミド織物の優位性を確認する。

- (1) 基板メーカーにてアラミドテープ薄織物を用いてプリプレグ、積層板を試作し物理性、電気特性を評価しガラス織物対比の優位性を実証する。

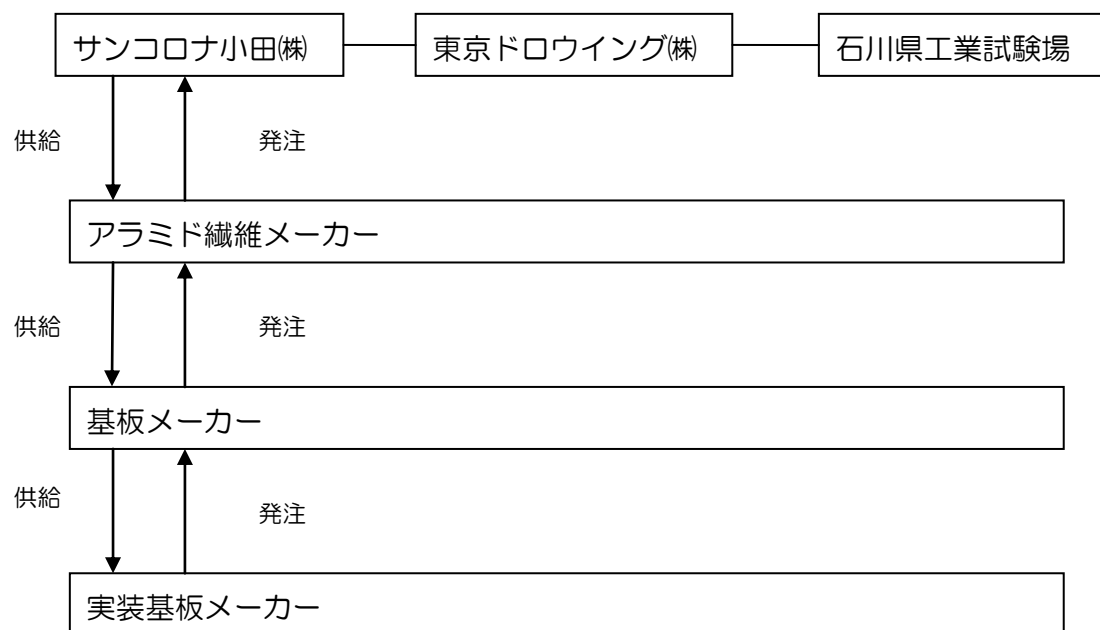
基板メーカーにプリプレグ、積層板の試作評価を申し入れ、アラミド薄織物を提供し、検討を実施した。現在、製品で使用されている低熱膨張性の樹脂をアラミドテープ織物に含浸させプリプレグの検討をしたところ、テープ織物に樹脂の含浸のバラつきが大きくボイドが認められた。含浸を向上させボイドを減少させるための研究と市場開発の継続が必要になった。具体的にはボイドをなくした基板を用いてプリプレグエポキシ樹脂と溶剤を検討し最適なものを探索していく。本研究成果はボイドを減少が可能となれば、実使用に耐えられる高性能基板が可能となる。

- (2) 実装基板メーカーにてアラミド薄織物を用いてプリント配線実装基板を試作し

製品での評価を行いガラス織物対比の優位性を実証する。

実装基板メーカーにてアラミドテープ織物を用いた実装基板評価の申し入れを行った。現在プリプレグが完成されていないため、その技術確立まで時間が必要となった。

・事業化体制図



第3章 全体総括

3-1 均一なアラミド繊維の開繊装置およびアラミドテープ製造技術の開発

(1) 幅精度の高いアラミドテープ生産技術の開発

3年間のまとめ

開繊テープ製造装置仕様の決定と連続テープ生産技術の検討を進め、新規導入設備の選定とテープ連続生産の以下について適正基本条件を確立した。

- ・設備全体の繊維、テープの張力を一定に保つ張力装置、張力条件
- ・糸を抵抗無くスムーズに解きほぐす解舒機構
- ・開繊部を1m 強以上とること

さらに、テープチーズ巻取りにおいて鬼綾の発生を抑制する装置の設計および組み込みを実施し、安定的に解舒可能となり問題を解決した。開繊工程において、開繊した状態を一旦収束させて、ある幅まで幅制限を用いつつ徐々に押し広げることで、テープ幅の変動を安定的に抑えたテープの製造技術を確立した。

(2) アラミドテープを均一に安定させるサイジング技術の開発

3年間のまとめ

開繊テープ製造装置仕様の決定と連続テープ生産技術の検討を進め、新規導入設備の選定とテープ連続生産の適正基本条件を検討した。

- ・プロセスの繊維張力を一定に制御する機構の組み込み
- ・糸を抵抗無く解きほぐす効果で開繊できる開繊機構（ストレート糸道）
- ・樹脂量の制御が容易でテープに抵抗が無く樹脂を塗布できる機構

以上の技術確立を行い、糸速数十 m/min での連続安定サイジング技術を確立した。

(3) アラミドテープの連続高速生産技術の開発

3年間のまとめ

(1) および (2) で検討した設備、技術により最適条件を探索し糸速数十 m/min で数千 m/min 連続巻取りチーズの巻き取り技術を確立した

3-2 アラミド薄地織物の製造技術の開発

(1) 織物繊維密度の均質な織物生産技術の開発

3年間のまとめ

経緯テープ間に隙間が発生しプリント配線基板に求められる織物精度に不適合であった。

この為、23年度、24年度は経糸と緯糸の高密度化の検討を行った。

- ・幅改善テープの織物評価
- ・経糸高密度化可能ヘルドの開発
- ・緯糸高密度化装置の基礎検討

25年度は緯糸高密度化（押し込み）装置の適正化技術検討および評価を行った。緯糸テープ幅の適正化技術と組み合わせることによりテープ間幅が数 mm 以内に収まり、従来見られていた緯糸の湾曲・潰れも無くなり連続生産が可能となった。

（2）アラミド薄地織物連続生産技術の開発

3年間のまとめ

24年度にチーズ緯糸挿入装置の設備設計・導入を行った。

25年度はテープ張力緩みの対策としてチーズから貯留部までに掛かる張力とテープ張力適正化を測りテープ緩みをなくし挿入時のテープ捻じれを解消できる最適技術を検討した。この結果、連続挿入し、織機挿入速度数十 rpm で数千mを連続して製織可能な技術を確立した。

（3）アラミド薄地織物の高速連続生産技術の開発

3年間のまとめ

24年度の製織条件を応用し、25年度はチーズ巻挿入技術の併用により当初目標とした数十 rpm での製織を可能にした。

アラミド繊維広幅テープを経、緯に使用して、厚さ数十 μm の薄地テープ織物を製造する技術を初めて確立することができた。

3-3 アラミド繊維織物を利用した熱硬化性樹脂複合基板加工技術の開発

プリント配線基板の要求特性と生産工程に適合したテープサイジング剤と目止め剤の開発検討を行った。

（1）マトリックス樹脂の含浸性が良くボイド（空気残留部）が発生しないテープ織物の開発

3年間のまとめ

プリント配線基板の要求特性と生産工程に適合したテープサイジング剤と目止め剤の開発検討を行った。

23年度研究開発で選定した熱可塑性ナイロン系剤を用いて基板試作を進めた結果、ハンダ耐熱性評価で基板内部に層間剥離が発生し基板として使用ができなかった。

24年度研究ではガラス紙用のバインダーとして基板で使用されている熱硬化性エポキシ樹脂を選定した。評価の結果テープ形態保持性。織物目止め性ともに十分強度があり、プリプレグ製造工程に耐性のあるサイジング剤・目止め剤を開発した。

しかしながら、銅箔エッチング処理で銅箔除去後に白筋が認められた。白筋化対策のため、基板断面を観察したところ基板内部にボイドが多発していることがわかった。

さらに、ボイド発生原因調査の結果テープの繊維・繊維間に空気残留部が発生していることがわかった。

25年度研究はボイド対策としてエポキシ剤を塗布するテープサイジング方式の検討を行った。繊維・繊維間にボイドを残さないために、サイジングで樹脂を塗布後ローラーに挟み込んで加圧するディップ方式の検討を行った。しかしながらこの加圧ディップ方式でも繊維・繊維間の小さなボイドを押し出すことは難しく限界があることが判明した。今後は繊維間にボイドを残さない対策として、半硬化プリプレグの状態で製織可能なテープ化を行うことにより達成できると考えている。そのために、新規のエポキシ樹脂および樹脂と溶剤による樹脂適正粘度を評価し最適解の探索を行う。

本研究成果より残留空気を減少させることが出来れば、基板強度、耐熱安定性に優れ、実使用に耐えられる高性能基板が可能となることがわかった。

(2) 熱硬化性樹脂の探索、樹脂含浸方法の開発、加熱真空積層熱プレス技術の構築

3年間のまとめ

23年度は、石川県工業試験場所有の熱プレス加工機で予備加工試験を行った結果、プリプレグを用いて基板の試作が可能であることが確認されたため、本装置により試験片作製・評価を行う事とした。

24年度はサイジング・目止め剤として熱可塑性樹脂を用いたアラミド開繊テープ・織物とエポキシ樹脂からなるプリプレグ3枚の基板成形において、プレス成形による試作条件（予備加熱時間、昇温方法等）を変化させて成形状態（繊維・樹脂流れ等）につい

て検討した。その結果、基板成形には、硬化反応が進行する温度域での昇温速度制御の重要性が確認され、表面状態、樹脂含浸状態が良好な成形品を試作できた。

25年度は、24年度の結果をもとにプリプレグの枚数をスケールアップした基板のプレス成形において、加熱と加圧のタイミングについて各種成形条件を検討した。

その結果、硬化が起こり始める低加圧下で昇温・保持し、硬化が進行するタイミングで高加圧下で昇温し、硬化が完結するまで保持することによって、繊維・樹脂流れが少ない成形条件を見出すことができた。また、熱硬化性のサイジング・目止め剤を用いたプリプレグについても層数を増やして成形を行ったが、熱硬化性のサイジング・目止め剤を用いる場合は、さらにボイド対策が必要であることが確認された。

3-4 基板の実用化

(1) 試作基板の物理的特性、熱的特性、高周波特性の計測・評価

23年度は、アラミド織物とエポキシ樹脂フィルムを重ね合わせて熱プレス加工機で試作したアラミド基板について、曲げ試験、熱的特性（線膨張係数）測定を行った。その結果、アラミド繊維は含有率により曲げ強度は増加するが、その増加の割合はガラス繊維の方が大きいことがわかった。また、アラミド基板の体積変化はアラミド繊維の含有量が少ないものはエポキシ樹脂の体積変化に大きく影響されるが、含有率が高くなると厚み方向に膨張する傾向になった。

電気的特性として、誘電率を評価した結果、アラミド繊維とエポキシ樹脂との体積比で誘電率が変化することがわかった。また、 $10^{15}\Omega\text{cm}$ 以上の体積抵抗率があり基板として有用であることを確認した。

24年度は、プリプレグシートと基板を委託加工した。その基板を用い、曲げ試験、熱的特性（線膨張係数、寸法変化率）測定を行った。その結果、アラミド基板の最大曲げ強度はJISの要求基準をクリアしていることが確認された。また、アラミド基板およびガラス基板の線膨張率において、X軸方向では両者に大きな差は見られなかったが、Z軸では前者の方が後者よりも全体的に大きいことが確認された。一方、多層基板を製作する際の積層処理（高温、高圧）による寸法変化率を確認した結果、ガラス基板より寸法変化率が小さいことがわかった。

電気的特性として、電氣的（高周波）特性を評価した。24年度新規導入設備（電気特性計測システム）によって、アラミド基板、並びにガラス基板の高周波における特性を

評価した。その結果、広帯域に渡りアラミド基板は低誘電率を示すことを確認した。また、電氣的（絶縁性）特性の評価として、試作したアラミド基板の体積抵抗率、表面抵抗を評価した結果、それぞれ JIS が要求する体積抵抗率で $10^{13}\Omega\text{cm}$ 以上、表面抵抗で $10^{12}\Omega$ 以上を大きく上回る結果となった。

25年度は、アラミド基板とガラス基板を試作し重量を比較した結果アラミド基板が軽量であることを確認した。

電氣的特性として、アラミド基板、及び、ガラス基板の高周波における電氣的特性を評価した。アラミド基板のシングルエンド線路の特性インピーダンス、差動線路のインピーダンスをインピーダンスコントロールすることできた。透過特性は線路の損失を意味し、シングルエンド線路、差動線路ともに高周波になるに従い特性が劣化する傾向にあり、その傾向は両者に大きな違いはなかった。また、アラミド基板、ガラス基板とで透過特性に大きな差異は見られなかった。伝播時間に関しては、アラミド基板の方がガラス基板より高速で信号を伝送できる結果となった。

（2）アラミド基板の加工（穴あけ加工、メッキ加工）技術開発、評価

23年度は、穴あけ加工条件、観察方法を検討した。ドリル径を $\phi 0.3\text{mm}$ として、回転数を変更した場合（送り速度制御不可）の加工面の観察を行った。どの回転数で穴あけ加工を行っても、バリや毛羽立ち（デラミネーション）が観察された。

24年度は、径の異なるドリルを用いて、ガラス基板の標準穴あけ加工条件（回転数、送り速度制御可）でアラミド基板の穴あけ加工を行うことで、デラミネーションの発生は確認できず非常に良好な加工ができた。従って、アラミド基板といえども特別な加工をする必要はなく、従来のガラス基板と同様な加工条件で良好な加工性状を保つことができることがわかった。また、ドリル摩耗については、国内における電子基板製造現場における標準の交換時期では大きな摩耗は確認できず、これが、良好な穴あけ加工結果に結びついているものと考えられる。

次に、ドリル穴にスルーホールを形成するため、両面銅張基板に電子基板製造現場で実施されている条件でめっき加工した。その結果、均一にめっきされており、また、クラック、はがれ、アラミド繊維の突き出し、アラミド基板の隙間へのめっき侵入等の欠陥もなく良好にめっき加工されていることが確認できた。比較のためガラス基板についても同条件でめっき加工を行った結果、アラミド基板と同様に良好なめっき加工が施さ

れていることが観察できた。以上より、穴あけ加工と同様、アラミド基板をめっき加工する際も、従来から多用されているガラス基板と同条件で加工できることがわかった。

(3) 実動作確認用電子基板の設計・試作及び動作確認

3年間のまとめ

23年度はアラミド基板の配線インピーダンスを $50\Omega \pm 10\%$ 以内に調整するためにシミュレーションを用いてインピーダンス調整の検討をおこなった。マイクロストリップ線路の特性インピーダンスを解析し、アラミド繊維織物を用いた電子基板でも配線設計条件を変更することによりインピーダンスのコントロールが可能であることがわかった。24年度は積層基板を試作するための前段階としてインピーダンスをコントロールした積層基板をつくるため、テストクーポン基板を作成し評価した。この評価によりプレス条件を基準とし、アラミド基板でもライン幅をシミュレーションにて導き出すことで設計値により近いインピーダンス値にて試作することが可能となった。その条件のもと、アラミド積層4層基板を製造し、電気特性調査を実施して電子回路を搭載する設計条件を導き出すことができた。

25年度は実際にアラミド基板上に電子回路を搭載して、回路動作させることでアラミド基板の優位性を見出すことを目的とした実動作確認用8層電子基板を試作し評価した。インピーダンス特性についてはこれまでのノウハウを活かすことができ、すべての層のインピーダンスラインについて設計インピーダンス値の $\pm 10\%$ の変動幅におさめることができ、アラミド基板にて特性インピーダンスを調整した多層基板を製造できることが確認できた。また、試作した実動作確認用アラミド基板にて部品搭載評価を実施し、電子部品が問題なく実装できることを確認した。電気特性評価を実施し、ガラス基板と比較した結果、配線インピーダンスの安定性は劣るものの高周波特性、信号の伝送品質についてはガラス基板よりアラミド基板の方が優位である結果が得られた。更に一般電気製品に使われている USB3.0 の汎用インタフェースがアラミド基板上で動作可能であることを確認することができた。

3-5 事業化検討

市場メーカーにおいて基板及び実装基板の基礎評価を行いアラミド織物の優位性を確認した。

3年間のまとめ

基板メーカーの積層板の試作評価結果、樹脂の含浸バラつきが大きくボイドが認められペンディングとなった。ボイドを減少させるための研究と市場開発の継続が必要になった。本研究成果はボイドを減少が可能となれば、実使用に耐えられる高性能基板が可能となると考える。

3-6 まとめ

一般的に生産されている太デニールのアラミド繊維を原料とした広幅テープ及びテープ薄地織物の生産技術を確立した。またこのアラミド織物を用いた基板の評価用サンプルを作製することができた。評価の結果、アラミド薄地テープ織物の基板はガラス織物の基板に比べ、軽量性、低誘電率、低熱膨張性が優れ、加えて高周波特性に優れており、高速信号の伝送に有利である可能性を確認した。主な課題は基板内部にボイドが有り、品質面で問題があることである。基本的な改善が必要であり、対策および事業化検討を補完研究にて実施したい。具体的にはエポキシ樹脂含浸性を向上させ、ボイドをなくすためにプリプレグのエポキシ樹脂と溶剤を検討し最適解を探索する。併せて、基板メーカーの試作評価を継続する。本研究成果は、ボイドを減少することが可能となれば、実使用に耐えられる基板を実現できる。なお、本研究開発の実現により、医療機器、電気自動車、航空機、情報家電の産業分野で使用されている高周波領域の基板の高性能化に貢献できる。コスト競争力も有ると考えられる。