

## エコキュート貯湯タンクの溶接高速化技術

Technology for High-Speed Welding of EcoCute Tanks

当社エコキュート<sup>(注)</sup>に搭載している貯湯タンクは、鏡板と胴体から構成されて、全周をTIG(Tungsten Inert Gas)溶接することで水密性を確保している(図1)。この全周溶接工程は貯湯タンク製造でのネック工程になっており、生産性向上の観点から溶接速度の高速化が求められていた。しかし、貯湯タンクには1mm以下の薄板を使用しており、溶接時に溶融池へ作用するアーク圧力による溶け落ちが発生しやすい状況であった。溶接速度を上げても鏡板と胴体を十分に溶融させるためには溶接電流の増加が必要であるが、これに伴ってアーク圧力が増大するため溶け落ちが更に発生しやすく、高速化の障壁になっていた。

そこで、溶接トーチの傾斜角度とアーク圧力の関係に着目した。溶接トーチの軸方向へ直進しようとするアークの硬直性を利用し、傾斜角度を従来の角度から大幅に増加させることで、溶融池に作用するアーク圧力を低減する手法を開発した(図2)。

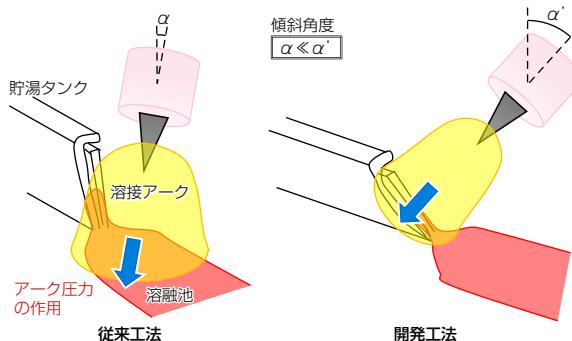


図2-周溶接部の様子

この手法によって、溶融池へ作用するアーク圧力を約70%低減できて(図3)、溶接電流の増加による溶け落ちを抑制することができるようになった。これによって、従来の課題であった溶接速度の高速化で2倍速化できる技術を確立した。

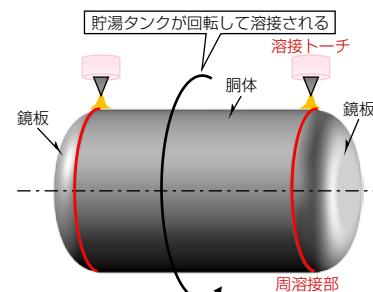


図1-貯湯タンクの周溶接工程

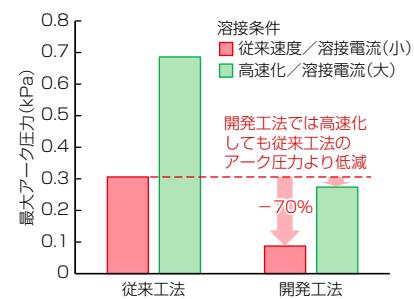


図3-最大アーク圧力の比較

## リニアトラックシステム“MTR-Sシリーズ”用位置検出器の高精度化

High-Precision Position Detector for Linear Track System “MTR-S Series”

生産ラインのリードタイム短縮及び変種変量生産のニーズが高まって、高速かつフレキシブルに搬送できるリニアトラックシステムが注目されている。

当社で発売したリニアトラックシステム“MTR-Sシリーズ”専用に安価で高精度な位置検出器を開発した。モーターモジュールに並べた磁気検出素子でキャリアに設けたスケール用磁石の磁気を検出する方式を採用した(図1)。

検出器を高性能化するために、独自の磁界解析技術によって、磁石に対する磁界分布を均一化したまま磁力を向上させることができるように着磁機と磁石の磁気ギャップを最適化し、通常の着磁品に対して1.5倍の磁束密度を実現した。

モーターから発生した磁束が磁気検出素子に干渉する問題に対して、モーターからの漏れ磁束の経路を磁界解析

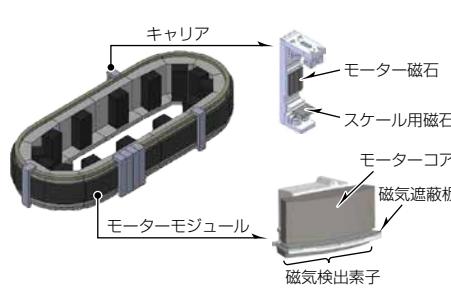


図1-リニアトラックシステムの位置検出方式

で導出し、効果的に漏れ磁束を遮断できる位置に磁気遮蔽板を設けた(図2)。さらに、モーターモジュール間を跨(また)ぐように先に述べた磁気遮蔽板を配置することで、モーターモジュール間の隙間から発生する干渉磁束も低減した。

これらの対策で磁気検出器のS/N比(Signal to Noise ratio)を向上させ、業界最高レベルの繰り返し位置精度 $\pm 5 \mu\text{m}$ を達成した。

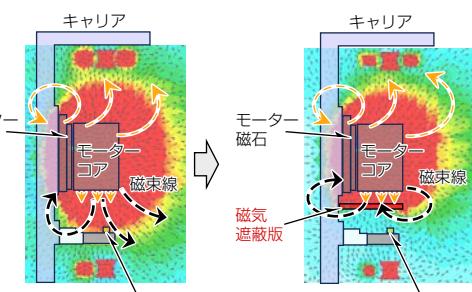


図2-磁気遮蔽板の配置

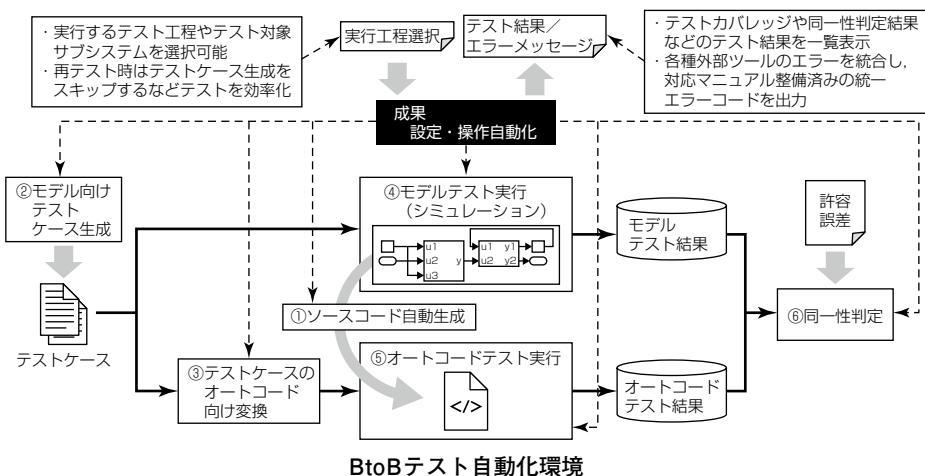
## ■ MBDによって生成したソースコードの検証自動化技術

### Automated Verification Technology for Auto-Generated Code in MBD

モデルから自動生成されたソースコード(オートコード)を活用したモデルベース開発(MBD)では、モデルとオートコードの同一性を検証するBack-to-Back(BtoB)テストが必要になる。しかし、BtoBテストには各種ツールを用いた多数の作業工程があり、工数の大きさとヒューマンエラーのリスクが課題であった。従来のテストツールはMBD開発環境の熟練者向けであり、先に述べた課題は看過されてきたが、近年MBD適用分野の拡大に伴って非熟練者によるBtoBテスト実施機会が増加し、深刻な課題になりつつある。

これに対して、ターゲットマイコン情報などのテスト環境設定、及びテスト対象モデルを入力するだけでBtoBテストの実施が可能になる、モデル及びツールの設定・操作自動化機能を開発した。この機能は、各種ツールをAPI(Application Programming Interface)で自動実行し、エラー発生時は対応マニュアル整備済みの統一エラーコードを出力することで、非熟練者によ

るテスト実施を可能にした。この機能によって、BtoBテストの基本工程である、ソースコード生成、モデル向けテストケース生成、同ケースのオートコード向け変換、モデルとオートコードのテスト実行、及びテスト結果の同一性判定の自動化を実現した。この機能を、14のサブシステムから成るオートコード規模1,400行のモデルに適用し、1サブシステム当たり最大2時間を要していたテスト工数を50%削減した。



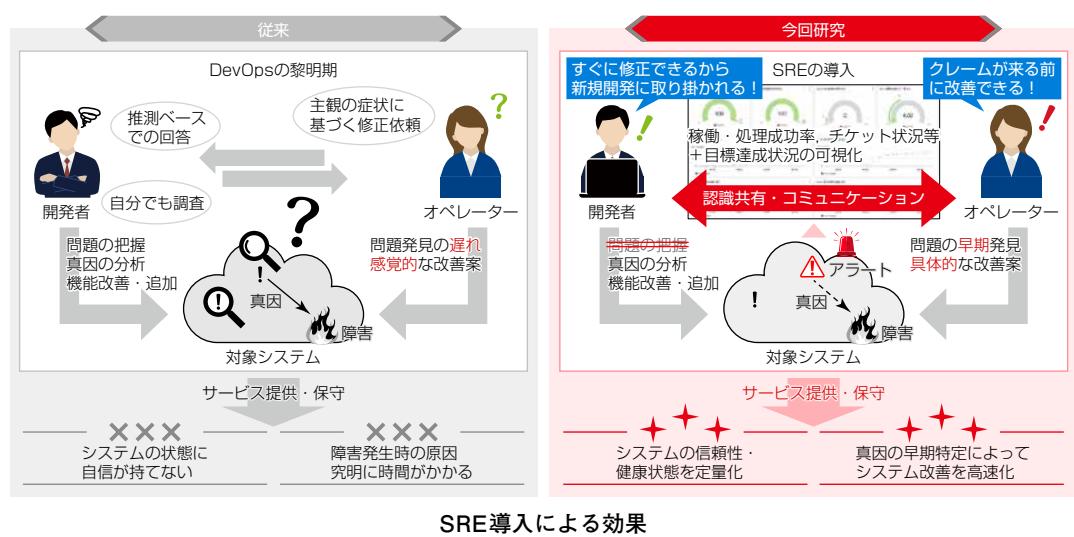
## ■ SRE実践を支援する品質管理指標の可視化技術

### Monitoring Service Level Indicators for SRE Practices

DevOps<sup>(\*)</sup>組織が浸透したが、考え方の定義にとどまって依然として開発と運用のサイロが残っており、サービス健康状態の不透明化、障害対応の長期化等の問題が顕在化している。そこでDevOps推進の実践策として注目されているSRE(Site Reliability Engineering: サイト信頼性エンジニアリング)に基づいて、サービスの健康状態を可視化・共有するサービス監視環境を構築した。BtoB(Business to Business)でサービス提供をしている組織を対象として、組織分析からSREを含んだ体制を提案し、稼働率や処理成功率に関連する指標をサービス品質指標(SLI(Service Level Indicator)/SLO(Service Level Objective))として可視化し、品質低下時の自動通知も

実装した。BtoBでサービス提供をしている組織にこの環境を適用したところ、開発者と運用者が共通の指標で障害要因を効率的に特定・共有できる環境が整ったことで初動対応の迅速化が実現できたとの評価を受けて、この環境の有用性が実証された。

\* 1 ソフトウェアの開発リードタイム短縮・品質向上等のために、開発と運用を連携する手法や仕組み



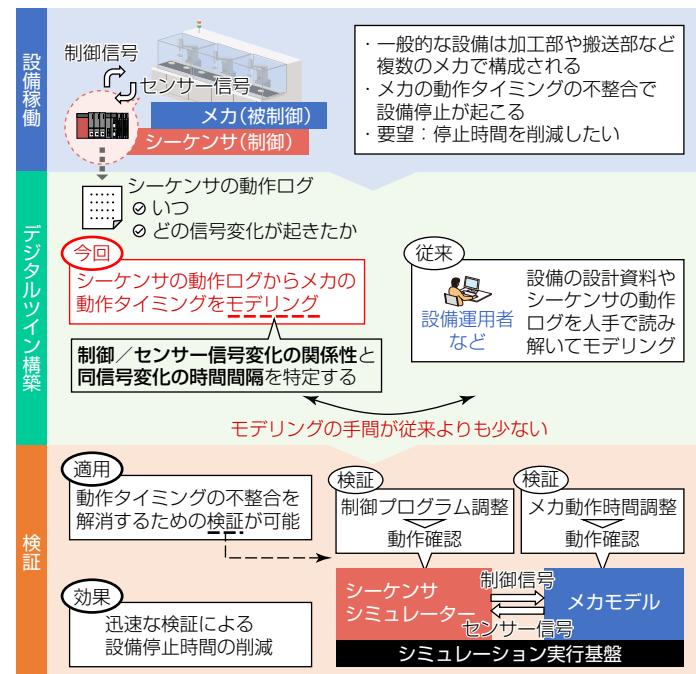
## ■ 製造設備デジタルツイン構築技術

### Modeling and Simulation Technology for Digital Twins of Manufacturing Equipment

製造設備を構成する複数のメカニズム(以下“メカ”という。)がそれぞれ異なる処理時間で動作し、さらに製造品の品種の違いなどで各メカの処理時間が変動する場合、メカの動作タイミングの不整合によって意図しない設備停止が起こることがある。この問題に対して、設備全体の動作タイミングを再現するデジタルツインによる検証が有効だが、従来の再現技術ではメカの動作タイミングを人手でモデリングする手間を要していた。

今回、設備の制御を司(つかさど)るシーケンサの動作ログからメカ動作タイミングのモデル(メカモデル)を生成し、さらにシーケンサシミュレーターと連動させて設備全体の動作タイミングを再現する技術を開発した。特長として、手間の要因になる制御／センサー信号変化の関係性の特定、及び信号変化の時間間隔の特定を自動化し、モデリングの手間削減を実現した。また、メカモデルに任意のメカ動作時間を与えて、複数のメカの動作時間を多様に組み合わせてシミュレーションを実行し、各々のケースで設備全体の動作タイミングがどう変化するか確認することも可能にした。

この技術によって、メカの動作タイミングの不整合に起因する設備停止が起こるか否かの検証や、設備停止の回避に必要なメカ動作時間の検証などを、従来よりも少ないモデリングの手間で実施できるようになる。これによって、検証を迅速に行えて、設備改修に伴う設備停止時間を削減できる。

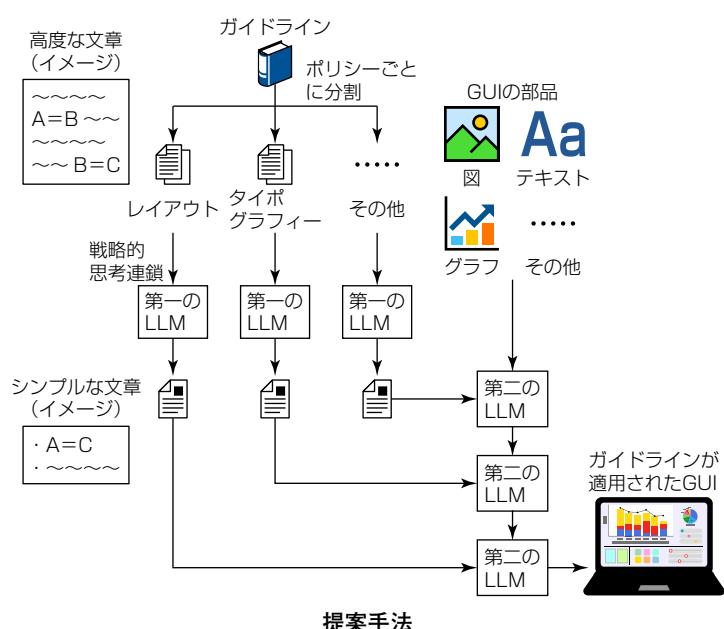


## ■ GUI生成AI技術

### GUI Generation AI Technology

画面の操作性や見た目を統一するためのガイドラインに沿ったGUI(Graphical User Interface)の作成には工数を要して、自動化が求められている。しかし、ガイドラインはレイアウトやタイポグラフィーなどGUI特有の複数ポリシーから構成されて、かつGUI特有の高度な文章であるため、LLM (Large Language Model)で直接解釈できない。

そこで、ガイドラインをポリシーごとの文章に分割し、二段階のLLMでGUIを生成する技術を開発した。第一のLLMは戦略的思考連鎖で高度な文章をシンプルにして、その文章を基に第二のLLMでGUIを生成する。この技術を当社製品のGUIで評価した結果、ガイドラインが正しく適用されたGUIを生成できた。この技術は、多様な製品のガイドラインへの適用が期待できる。

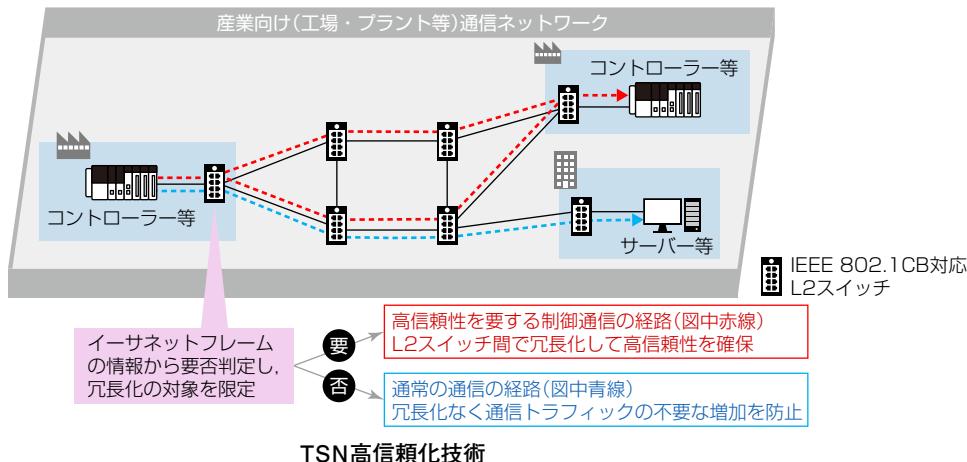


## ▲ TSN高信頼化技術の標準化

### Standardization of TSN High Reliability Technology

イーサネット<sup>(注)</sup>の産業向け拡張規格群TSN(Time-Sensitive Networking)における冗長通信方式“IEEE 802.1CB”の規格改定のリーダー兼エディターとして国際標準化活動に貢献した。改定によって、産業用通信で多く使われるイーサネットフレーム情報を用いて冗長化を要否の条件に合っているかどうかを判定する方式を追加した。こ

の方式を活用することで、CC-Link IE TSN等の産業用ネットワークを適用した高信頼システムで、通信フレームを更にきめ細かく特定して冗長化することが可能になる。また冗長化の対象とする通信を限定することによって、高信頼性を必要としない通信の冗長送信を抑制し、通信トラフィックの不要な増加を防ぐことも可能になる。



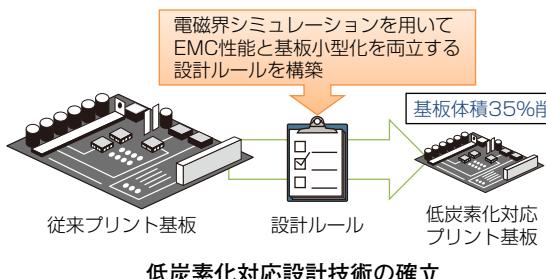
## ▲ プリント基板の低炭素化を実現する設計・材料技術

### Design and Material Techniques for Low-Carbon Printed Circuit Boards

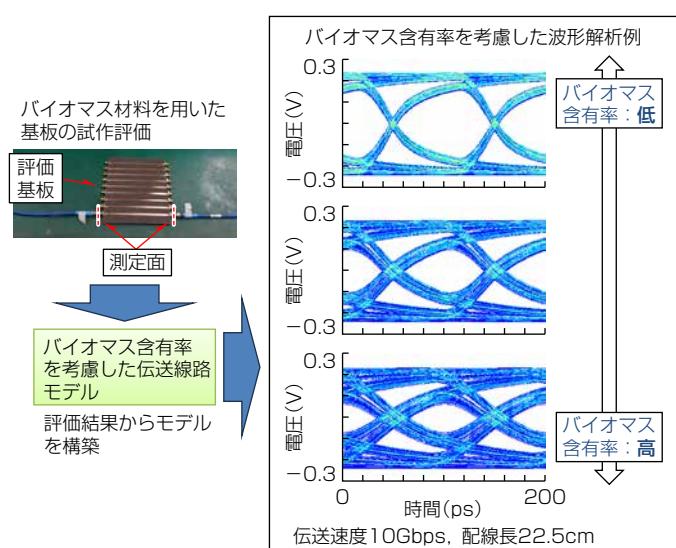
低炭素社会への移行が進む中、プリント基板の環境負荷低減に向けて、基板体積の削減と低炭素材料の採用の両面からのアプローチが求められている。

今回、電磁界解析を用いた電源／グラウンドのレイアウトの最適化によって、層数・板厚・面積の削減を実現し、基板体積を35%削減しながらEMC(電磁両立性)性能を維持する設計技術を確立した。さらに、バイオマス材料を用いた基板を試作し、高速信号伝送特性への影響を定量的に評価するため、バイオマス含有率に対応した伝送線路解析モデルを構築した。これによって、バイオマス材料を用い

た基板の設計指針の確立が可能になった。これらの成果は、プリント基板の観点で低炭素社会の実現に大きく貢献するものである。



低炭素化対応設計技術の確立



バイオマス含有率を考慮した伝送線路波形解析の実現

## △ 低GWP冷媒に対応した圧縮機用潤滑油の摩擦特性評価技術

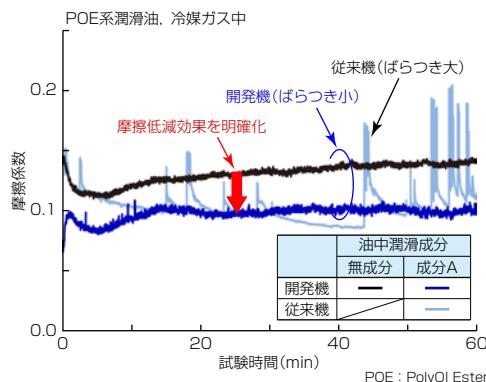
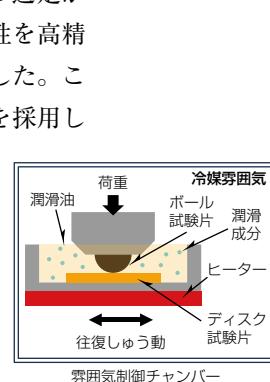
### Tribological Evaluation of Lubricants for Low-GWP Refrigerant Compressors

近年、地球温暖化に影響する冷媒ガスへの規制が強化されて、空調冷熱機器では地球温暖化係数の低い冷媒(低GWP冷媒)への切替えが喫緊の課題である。冷媒圧縮機でも、低GWP冷媒に適合した摩擦の小さい潤滑油の選定が求められる。今回、冷媒ガス中で潤滑油の摩擦特性を高精度に評価できる試験装置を京都大学と共同で開発した。この装置は、摩擦力測定に超小型多軸力覚センサーを採用し従来比50分の1の小型化を図ることで、熱的な経時安定性を向上させて、摩擦試験の測定ばらつきを大幅に低減した。これによって、



冷媒ガス中摩擦試験装置

これまで判別が難しかった摩擦低減に有効な油中の潤滑成分を特定可能にした。この技術を、低GWP冷媒に対応した圧縮機の潤滑油の選定に活用する。



冷媒ガス中での油中潤滑成分の摩擦評価例

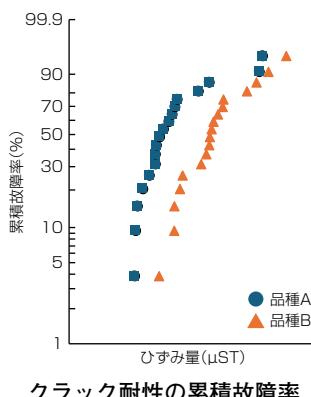
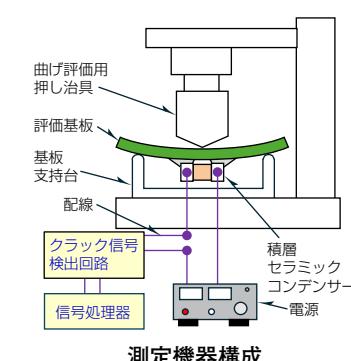
## ■ 電気特性変化による積層セラミックコンデンサーのクラック検出技術

### Method to Detect Cracks in Multi-Layer Ceramic Capacitors by Electrical Characteristic Changes

積層セラミックコンデンサーのひずみ応力に対するクラック耐性を高精度に評価する手法を開発した。

近年、表面実装部品の小型化に伴って、基板がたわんで実装部品がひずむことで生じるクラックへの耐性が低下している。積層セラミックコンデンサーで傾向が顕著である。今回、ひずみを印加したコンデンサーにクラックが生じる際、電気特性が極短時間で微小に変化することを見いだして、微分成分を抽出して変化を高感度に検出する回路を開発した。この回路とひずみ量の測定を組み合わせることで、ひずみ応力に対するクラック耐性を高精度かつ定量的に評価することが可能である。今後、部品評価や製品検査に適

用し、最終製品の品質向上を図っていく。



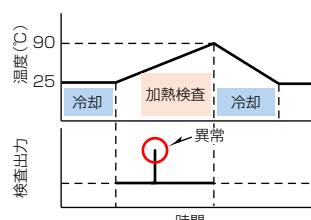
クラック耐性の累積故障率

## ■ 温度スイープ検査技術

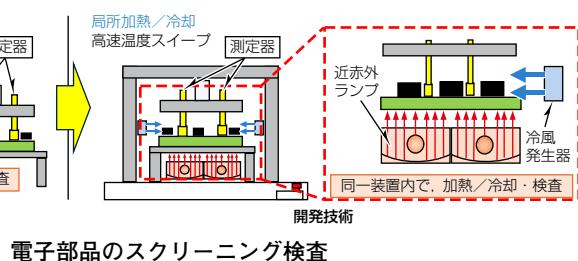
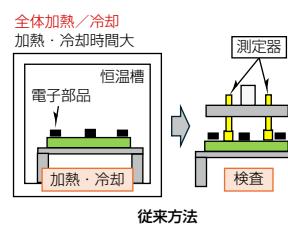
### Temperature Sweep Inspection Technology

電子部品のスクリーニング検査のため、恒温槽等の専用装置で加熱・冷却の後、特性検査は広く実施されているが、槽内で加熱過程と並行して検査を行うことは設備制約上困難であった。また、槽全体を温度制御するため、加熱・冷却に時間を要するという課題もあった。そこで、同一装置内で検査対象物に対して、局所加熱・冷却とプローピングを同時に特性を検査する、温度スイープ検査技術を開発した。加熱は応答性に優れた近赤外ランプによる輻射(ふくしゃ)加熱にして、冷却は周囲に複数の冷風発生器を設置して冷風を直接検査対象物に当てる方式にすることで、加熱時

の温度勾配を一定に制御しつつ高速温度サイクル(温度範囲: 25~90 °C, 60秒以下)を達成した。



温度スイープ検査



電子部品のスクリーニング検査

## ■ EPSモーター用コネクターのプレスフィット接合技術

### Press-Fit Joining Technology for EPS Motor Connectors

自動車メーカーが求める様々な仕様や車両レイアウトに対応した製品を低コストで提供するために、構造の簡素化と多品種の生産に対応可能な製造技術が必要である。従来製品では、コネクターと基板を中継部材を介して接続していたが、今回、コネクターにインサート成形した複数本のプレスフィット端子を基板に直接接合する技術を開発した(図1)。端子の位置ずれによる不良を防止するため、コネクターの製造工程で端子先端の位置精度を確保し、かつ高精度に組み付け可能な製品構造と組立機構を採用した(図2)。

この技術によって、

部品点数を減らして製品構造を簡素化できた。また、簡単な製造工程でコネクターの配置を上下選択可能であり、製品のレイアウト性も確保した(図3)。

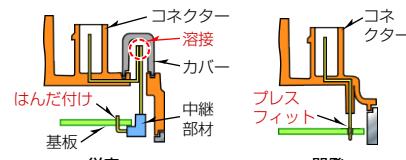


図1-コネクター接続構造

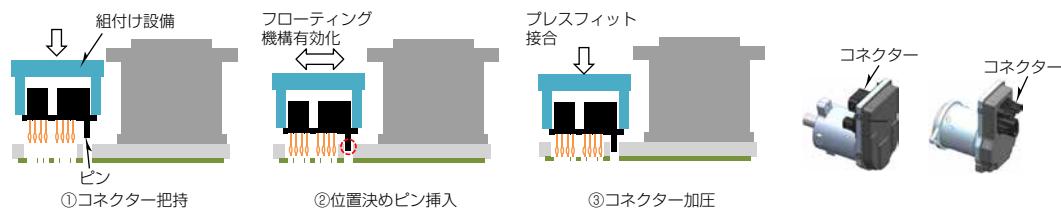


図2-コネクター挿入工程模式図

図3-コネクターの配置

## ■ 高耐久Alワイヤによるパワーモジュールの長寿命化技術

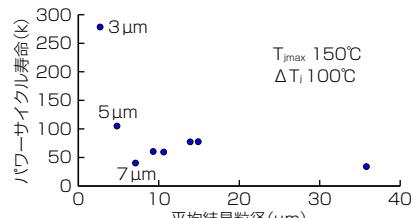
### Increase of Power Cycling Lifetime in Power Semiconductor Modules Applied High-Durability Al Alloy Wire

一般的なパワーモジュールでは、チップと導体を線径が数百μmのAlワイヤで接続している。パワーモジュールが動作すると、チップ、Alワイヤの温度が上昇する。その際、チップとAlワイヤの線膨張係数の差によって接合部に繰り返し熱応力が加わって、チップとAlワイヤのワイヤボンド接合部が金属疲労し、最終的には接合部が剥離する。そのため、一定の温度変化量 $\Delta T_j$ での接合部の寿命サイクル数を実測するパワーサイクル試験の結果を基に寿命設計をしている。

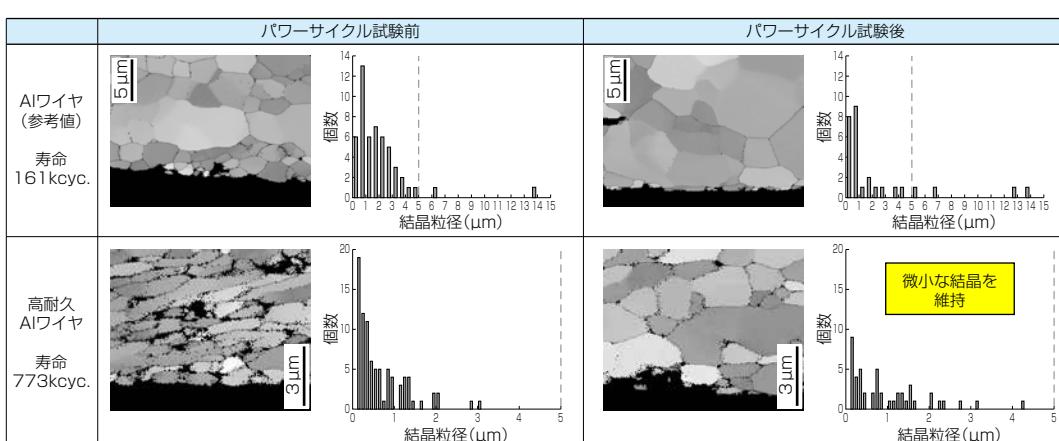
パワーサイクル寿命を向上させるため、結晶粒を微細化し耐力を大きくしつつ、パワーサイクル寿命に大きく影響する高温での結晶粒粗大化速度を小さくした高耐久Alワイヤを開発した。開発した高耐久Alワイヤの効果を確認するため、評価用モジュールを作製し、チップ温度 $T_{jmax} = 150^\circ\text{C}$ 、 $\Delta T_j = 80^\circ\text{C}$ 、通電時間 $t_{on} = 3\text{ s}$ の条件でパワーサイクル試

験を実施した。評価の結果、通常のAlワイヤサンプルが161kcyc.に対して、高耐久Alワイヤサンプルが773kcyc.と4倍以上の寿命になることを確認した。さらに、パワーサイクル試験後のワイヤ内部の結晶粒を確認すると、想定どおり、結晶粒の粗大化が抑制されて、パワーサイクル寿命が向上していることを確認した。

今後、寿命向上が求められる製品への適用を視野に、開発した高耐久Alワイヤの実用化に向けた取組みを加速する。



平均結晶粒径とパワーサイクル寿命の関係



パワーサイクル試験前後の結晶粒径の測定結果