

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「スポット溶接における高速溶接技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社向洋技研

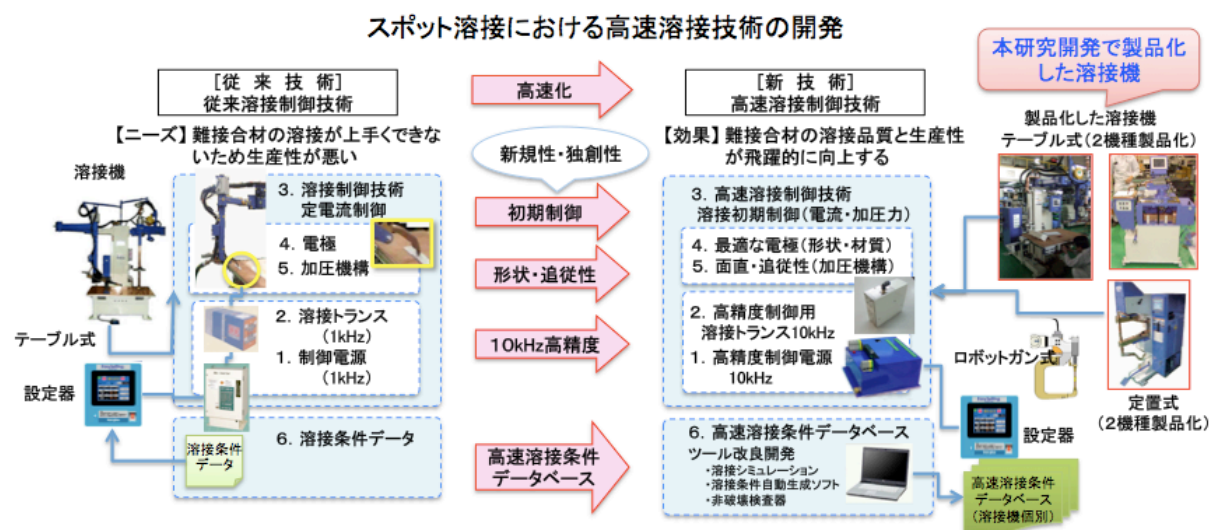
目 次

第1章 研究開発の概要	(3)
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	
1-2 研究体制	
1-2-1) 研究組織・管理体制	
1-2-2) 管理員及び研究員	
1-2-3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	
1-2-4) 他からの指導・協力者	
1-3 成果概要	
1-4 当該研究開発の連絡窓口	
第2章 高精度制御電源の開発	(11)
第3章 高精度制御用溶接トランスの開発	(13)
第4章 高速溶接技術の開発	(14)
第5章 最適な電極形状および材質の開発	(17)
第6章 面直・追従性加圧機構の開発	(19)
第7章 高速溶接条件データベースの開発	(21)
第8章 全体総括 (成果と今後の課題・事業化)	(22)

第1章 研究開発の概要

図1が本研究開発の「スポット溶接における高速溶接技術の開発」の概要を示す。

図1 「スポット溶接における高速溶接技術の開発」概要



[研究達成状況]

- 1) 「1. 高精度制御電源 10kHz」「2. 高精度制御用溶接トランス 10kHz」の課題を完成できた。
- 2) 「3. 高速溶接制御技術」の高速溶接に適する電流波形を考案し「6. 高速溶接条件データベース」を構築できた。
- 3) 「4. 最適な電極形状及び材質」の先端形状と電極材料を考案し評価試験実施したが、実用化には課題が多い。
- 4) 「5. 「面直・追従性加圧機構」の評価試験で現状の機構で追従性は良好、面直性は定置式(PEN-T溶接機の面直)を改善した。
- 5) 「6. 高速溶接条件データベース」の構築とデータベースの自動生成ツールを完成した。

[事業化の状況]

- 1) 国内特許3件出願、国際特許PTC1件出願(但し、数カ国に出願)
- 2) テーブル式溶接機を2機種、定置式溶接機を2機種の製品化、H24年12月現在2台受注、1台客先納入し稼働中
- 3) 計画より半年早くH24年10月より発売開始でき、約10社以上の顧客から引き合いや共同開発の依頼あり。
- 4) H24年度販売予測:5台売上4,000万円、H25年度販売計画:50台40,000万円
- 5) 高速溶接制御装置と高速溶接トランスの製造製作に係る雇用を生み出せると思われる。

1- 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

【特定ものづくり基盤技術高度化指針】

(十七) 溶接に係る技術に関する事項

【背景】 急速な地球環境悪化が人類滅亡の危機にさらされている中で CO2 削減技術の高度化は先進国の日本が果たすべき役割であり、日本経済の発展は勿論のこと日本の国力にも繋がる。

【ニーズ】 CO2 削減（燃費向上）で自動車の軽量化は勿論のこと金属板（鋼板、アルミ、ステンなど）を加工して製品化するあらゆる分野で軽量化のニーズは非常に高い。

【課題】 特に自動車産業では超高張力鋼板で車体の軽量化を加速しており、使用する鋼板には超高張力鋼板（超薄板）、多様化した表面処理鋼板（メッキ材）などの難接合材が増加し良好な溶接品質を得るには溶接時間が長くなる傾向になってきた。アーク溶接やレーザ溶接に比較してスポット溶接は省エネでクリーンな溶接技術のため近年見直されてきた。さらにスポット溶接を普及させるためにも、従来のスポット溶接技術を高度化（当事業：高速溶接技術）することは日本の CO2 削減技術の高度化に繋がる重要な課題である。

【研究目的及び目標】 本研究開発の目的は、難接合材の溶接品質と生産性を飛躍的に向上できる高速溶接技術の研究開発を行う。

図 2.1 に本研究開発の開発事項及び目標値を示している。また、本研究開発の実施は図 2.2 の研究実施機関である。

図 2.1 新技術の目標値・解決方法・効果・波及効果の概要

高速溶接制御技術 開発事項	目標値の概要	解決方法の概要	効果	波及効果
1. 高精度制御電源の開発	制御分解能を10倍の10kHzにする	1. インバータ制御を10kHzにする 2. インダクタンス極小の2次導体機筐(特許出願中)	高精度な溶接品質の制御が可能	・アーク・レーザ溶接に代わって高速スポット溶接が拡大 ・電気自動車用電池の超急速充電に大電流の高精度制御を活用 ・自動車・建設・板金・航空宇宙の他に太陽電池・車両・家電など広い産業に活用
2. 高精度制御用溶接トランスの開発				
3. 高速溶接制御技術の開発	0.3sと0.03s(1/10)の時間で溶接	通電初期(0.01s)の溶接制御	省エネ・溶接歪みなし・生産性向上	
4. 最適な電極形状および材質の開発	溶着しない電極	高速溶接に適した放熱の良い電極先端形状の検証	溶着せずに高速溶接が可能 信頼性と生産性の向上	
5. 面直・追従性加圧機構の開発	面直加圧と高追従性加圧	面直加圧の機構とパネを用いた加圧機構の検証		
6. 高速溶接条件データベースの開発	最適高速溶接条件データベース	シミュレーション・非破壊検査器などのツールを用いて検証	安定溶接と生産準備工数の削減	

図 2.2 研究実施機関

高速溶接制御技術 開発事項	研究実施機関		
1. 高精度制御電源の開発	株式会社向洋技研 統括研究代表者 (甲斐美利) 研究開発主担当(甲斐孝治) 1. 2. 項: (寶山和生、多田旭、他2名) 3. 項: (寶山和生、他2名) 4. 5. 項: (甲斐孝治、他2名) 6. 項: (多田旭、他3名)	神奈川県産業技術センター 副統括研究代表者 (宮澤以鋼) 研究開発主担当(宮澤以鋼) 1. 項: (長尾達明、三岩幸夫) 4. 項: (薩田寿隆) 6. 項: (長尾達明)	拓殖大学 研究開発主担当 (杉林俊雄) 5. 項: (杉林俊雄)
2. 高精度制御用溶接トランスの開発			
3. 高速溶接制御技術の開発			
4. 最適な電極形状および材質の開発			
5. 面直・追従性加圧機構の開発			
6. 高速溶接条件データベースの開発			

【研究実施の結果と成果】本研究開発の目標に対して平成 22～24 年度の 3 年間で実施した達成度を図 3.1 に示す。本研究開発で最も重要な技術開発はほぼ 100%達成できました。部分的な課題はありますが、今後の改善項目として継続的に進めていきます。

また、今後の事業化の効果予測は図 3.2 に示しています。既に具体的な事業化が進んでおり、平成 24 年度に本研究開発で実施したサンプル製品を出荷しユーザから好評を得ています。

図 3.1 目標達成状況

高速溶接制御技術開発事項	目標値	平成24年度成果(達成率)	平成25年以降の課題
1. 高精度制御電源 2. 高精度制御用溶接トランス	制御分解能を10倍の10kHzにする	10kHz達成(100%) 10kHz達成(100%)	制御精度の向上 連続耐久試験
3. 高速溶接制御技術	0.3sを0.03s(1/10)の時間で溶接	1/5.5～1/13達成(100%) 実績値:0.2s→0.015s	最適波形の向上
4. 最適な電極形状及び材質	溶着しない電極	良好な電極であるも耐久性なし(60%)	耐久性の改善
5. 面直性の良い加圧機構	面直加圧と高追従性加圧	追従性問題無し(100%) 面直性H25.1改善(95%)	PEN-T溶接機の面直性 H25.1に改善
6. 高速溶接条件データベース	データベースの構築	データベースの構築(85%)	最適条件の継続改善

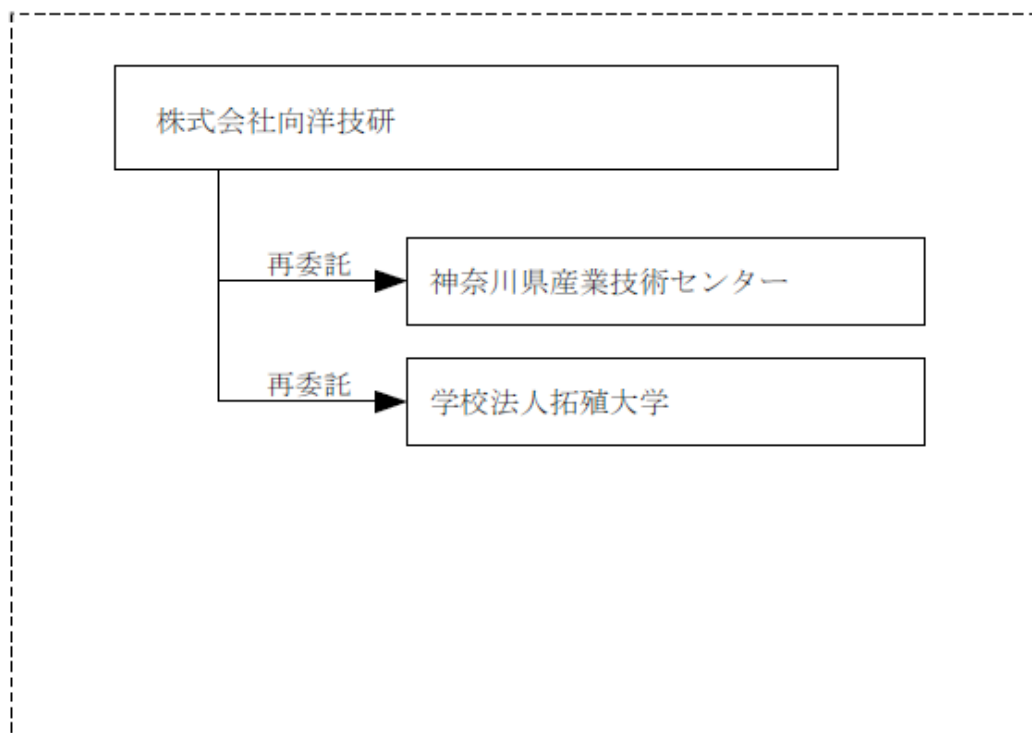
図 3.2 事業化の効果予測 (成果予測)

効果項目	効果(従来対比)	平成23年度成果(達成率)
省エネ	60～90%削減	52%～84%削減達成(93%)
生産性向上	24%向上	12～24%向上(50～100%)
溶接後補修作業	90%削減(溶接歪み無し)	50～95%削減(55～100%)
溶接品質	飛躍的に向上(最適溶接条件)	spc、sus、アルミ、ナット品質向上(100%) メッキ鋼板などの連続溶接は評価中(**%)
生産準備作業時間	50%以上向上(データベース)	38～68%短縮(76～100%)
小型軽量溶接トランス	1/2.5以下(体積・重量)	1/2.5～1/3達成(100%)

1- 2 研究体制

1- 2- 1) 研究組織・管理体制

1) 研究組織 (全体)



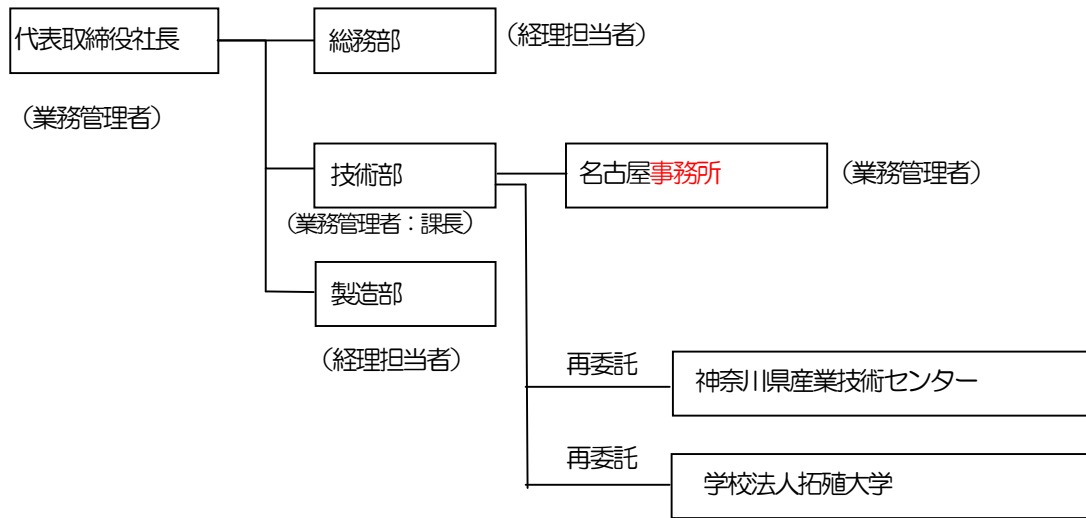
統括研究代表者 (P L)
株式会社向洋技研
代表取締役社長 甲斐 美利

副統括研究代表者 (S L)
神奈川県産業技術センター
電子技術部
主任研究員 宮澤 以鋼

2) 管理体制

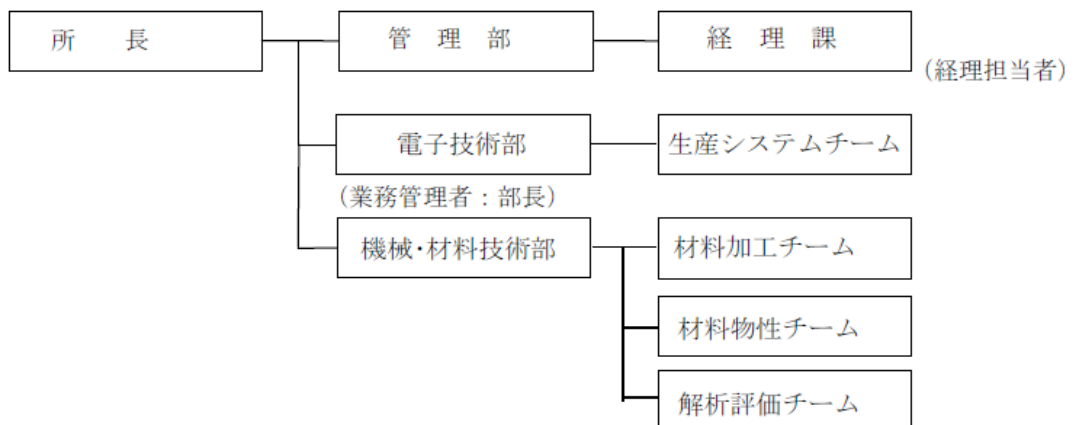
①事業管理機関

[株式会社向洋技研]

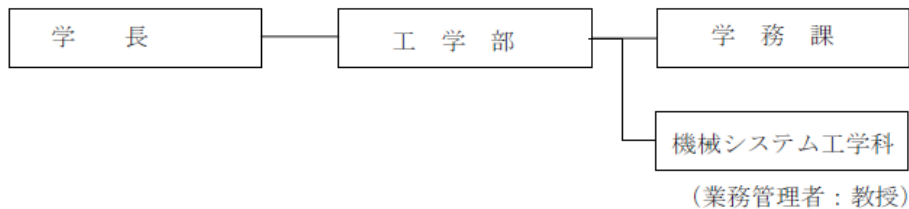


② 再委託先

[神奈川県産業技術センター]



[学校法人拓殖大学]



1- 2- 2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社向洋技研

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
甲斐 孝治	技術部 課長	⑥
甲斐 和代	取締役 総務部 部長	⑥
鳥島 香代子	製造部	⑥

② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
甲斐 美利	代表取締役社長	①②③④⑤
甲斐 孝治 (再)	技術部 課長	①②③④⑤
橋爪 和裕	技術部 係長	①②③④⑤
寶山 和生	技術部 係長	①②③④⑤
多田 旭	技術部 主任	①②③
篠崎 剛	技術部	①②③④⑤
藤枝 秀行	技術部	①②③
鈴木 泰平	技術部	①②③
鈴木 一宏	技術部 技師	①②③④⑤
遠藤 芳克	技術部 (名古屋事務所勤務)	①②③
永井 熙	技術部 (名古屋事務所勤務)	①②③④⑤
黒木 良文	取締役 製造部 部長	①②④⑤
畑野 健司	製造部 課長	①②④⑤
児玉 繁俊	製造部 係長	①
池畑 良三	製造部 係長	①②
鳥島 香代子 (再)	製造部	③
猪俣 太	製造部	③④

【再委託先】※研究員のみ

神奈川県産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
宮澤 以鋼	電子技術部 主任研究員	①
長尾 達明	電子技術部 主任研究員	①
三岩 幸夫	電子技術部 主任研究員	①
奥田 誠	電子技術部 技師	①
薩田 寿隆	機械・材料技術部 主任研究員	③④
佐野 明彦	機械・材料技術部 主任研究員	③
伊東 秀高	機械・材料技術部 主任研究員	③

学校法人拓殖大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
杉林 俊雄	工学部機械システム工学科 教授	③⑤

1- 2- 3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名
(事業管理機関)

株式会社向洋技研

(経理担当者) 総務部 部長 甲斐 和代
製造部 鳥島 香代子

(業務管理者) 本社

代表取締役社長 甲斐 美利

技術部 課長 甲斐 孝治

名古屋事務所

技術部 技師 遠藤 芳克

技術部 技師 永井 熙

(再委託先)

神奈川県産業技術センター

(経理担当者) 管理部 経理課 小嶋 勇

(業務管理者) 電子技術部 部長 日高 直美

学校法人拓殖大学

(経理担当者) 工学部 学務課 課長補佐 廣瀬 仁俊

(業務管理者) 工学部機械システム工学科 教授 杉林 俊雄

1- 2- 4) 他からの指導・協力者

氏名	所属・役職	備考
石川 一男	株式会社 C&D 取締役社長	謝金・旅費なし
川上 十伍	菊川工業 株式会社 常務取締役	謝金・旅費なし
追立 俊朗	戸塚金属工業 株式会社 代表取締役	謝金・旅費なし

1- 3 成果概要

図4に本研究開発の開発事項に対する目標達成度を示しています。また、図5には事業化した場合の効果予測を示しています。

図4 本研究開発の目標達成度

高速溶接制御技術開発事項	目標値	平成24年度成果(達成率)	平成25年以降の課題
1. 高精度制御電源 2. 高精度制御用溶接トランス	制御分解能を10倍の10kHzにする	10kHz達成(100%) 10kHz達成(100%)	制御精度の向上 連続耐久試験
3. 高速溶接制御技術	0.3sを0.03s(1/10)の時間で溶接	1/5.5~1/13達成(100%) 実績値:0.2s→0.015s	最適波形の向上
4. 最適な電極形状及び材質	溶着しない電極	良好な電極であるも耐久性なし(60%)	耐久性の改善
5. 面直性の良い加圧機構	面直加圧と高追従性加圧	追従性問題無し(100%) 面直性H25.1改善(95%)	PEN-T溶接機の面直性H25.1に改善
6. 高速溶接条件データベース	データベースの構築	データベースの構築(85%)	最適条件の継続改善

図5 事業化の効果予測

効果項目	効果(従来対比)	平成23年度成果(達成率)
省エネ	60~90%削減	52%~84%削減達成(93%)
生産性向上	24%向上	12~24%向上(50~100%)
溶接後補修作業	90%削減(溶接歪み無し)	50~95%削減(55~100%)
溶接品質	飛躍的に向上(最適溶接条件)	spc、sus、アルミ、ナット品質向上(100%) メッキ鋼板などの連続溶接は評価中(**%)
生産準備作業時間	50%以上向上(データベース)	38~68%短縮(76~100%)
小型軽量溶接トランス	1/2.5以下(体積・重量)	1/2.5~1/3達成(100%)

1- 4 当該研究開発の連絡窓口

氏名： 甲斐孝治(かいこうじ)
 所属組織名： 株式会社向洋技研
 所属役職： 技術部 課長
 Tel： 042-760-4306
 Fax： 042-760-4309
 E-mail： koji@koyogiken.co.jp

第2章 高精度制御電源の開発

2-1 高精度制御（10kHz インバータ制御）の開発

従来の1kHz インバータ制御を用いた溶接電流制御を、本研究開発の高精度制御は10倍の10kHz インバータ制御で実現する目標で開発を進めた。

図6は従来の1kHz インバータ制御と本研究開発の高精度制御（10kHz インバータ制御）の比較をしたものである。

図6 従来制御（1kHz）高精度制御（10kHz）比較



本研究開発は抵抗溶接における10kHzのインバータ制御で、一般のモータ制御と比較してパワー素子（IGBT）が開閉する電流は約300A～1000Aと大きく、しかも溶接電流は10000A～20000Aの大電流を制御する必要がある。このため安全に100 μ sの速度で高精度にインバータ制御する方法を開発し、図6に示す10kHz制御した電流波形を得ることができた。

また、10kHzのインバータ制御することで、溶接電流の立上がりを早く高精度に制御できる特徴が得られる。この技術は後で記述する本研究開発の重要な課題である高速溶接制御に有用な技術である。

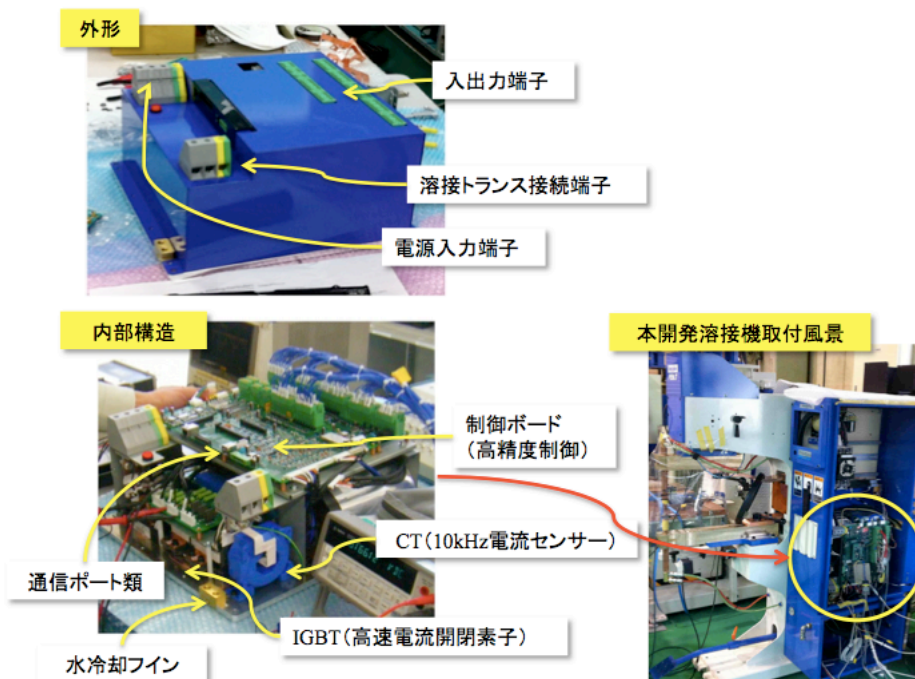
2-2 高精度制御電源の構成

図 7 が本研究開発で開発した 10kHz の高精度制御電源の構成である。抵抗溶接の用途は短時間に大電流を流すことから、パワー素子の定格値（連続使用時）の数倍の電流を制御する。このため瞬時的に発熱も大きく強制冷却が必要である。抵抗溶接の分野では一般的に水冷で行われており、本研究開発の高精度制御電源も同様に図 7 の装置の下部には水冷却フィンを使用している。

パワー素子には IGBT を使用して安全に大電流を流すことができるように物理的配置も考慮されている。また、10kHz 制御のための電流検出センサーも高精度なものを使用する必要があり、詳細に特性を調べて選定している。

その他には抵抗溶接機として必要な周辺機能を装備しているが、特に外部機器とのデータ受け渡しのための通信機能も必需品である。

図 7 高精度制御（10kHz）電源の構成



本研究開発で開発した高速溶接制御電源を溶接機に設置した状況が図 7 の写真にあるが、入力電源は三相 200V～400V で、出力は DC300V～600V が溶接トランスに接続される。本研究開発の高精度制御電源の主な特徴は下記である。

- 1) 10kHz の高精度インバータ制御
- 2) 最大出力 800A 使用率 7% の大電流制御可能
- 3) 電源は三相 200V～480V 切替無しで対応可（全世界の電源に対応）
- 4) 外部機器を動作させる入出力とシーケンス機能付
- 5) Devicenet や CC-Link などの Fieldbus 機能付
- 6) タッチパネル接続機能付

このように豊富な機能も装備していることから、幅広い用途に活用できるようにも構成されている。

第3章 高精度制御用溶接トランスの開発

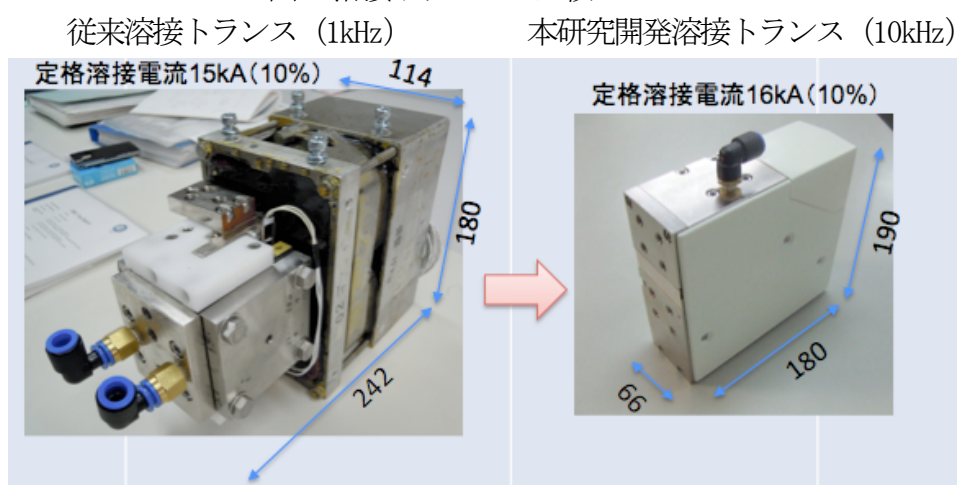
3-1 高精度制御用溶接トランス (10kHz) の開発

抵抗溶接では 10000A 以上の大電流の溶接電流を流す必要があり、その為に約 10v の低圧で 10000A 以上の大電流を流すダウントランス (溶接トランス) が使われる。

本研究開発の高精度制御電源は 10kHz インバータ制御で実現しており、これに使用する溶接トランスも 10kHz の性能を必要とする。しかし、従来技術は 1kHz の溶接トランスであり 10kHz で使用すると約 1/10 の溶接電流しか流すことができない。10kHz で使用できる溶接トランスの実現は本研究開発で最も難解な課題であった。

10kHz で 20000A 以上の溶接電流を得る為にトランスの構造を従来の発想から大きく変えて 6 回を超える試作を繰り返してやっと実現することができた。それが図 8 の写真で示すもので、従来の 1kHz 溶接トランスと比較している。

図 8 溶接トランスの比較



本研究開発の高精度制御用 (10kHz) 溶接トランスを実現できた大きなポイントはトランス部と整流ダイオード部の構造である。

主な特徴は下記である。

- 1) 最大出力 10kHz 16000A 10% (25000A 3.5%)
- 2) 電源 AC200V / 400v 切替機能付
- 3) 小型軽量 (重量 9.2kg)
- 4) 薄型形状で容易に並列接続可能

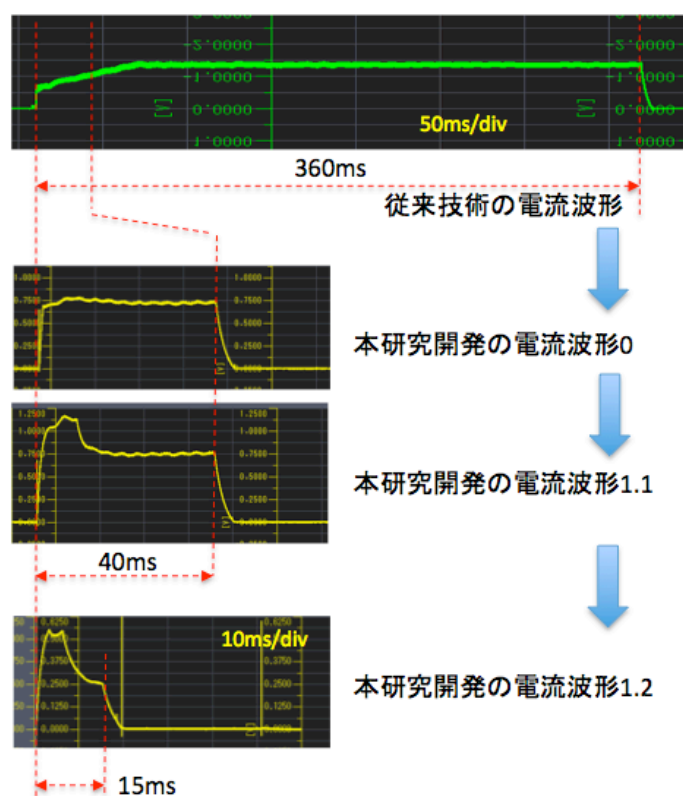
本研究開発の高精度制御用溶接トランスは 10kHz の周波数で大電流を流すことができる画期的な機能を得たものであり、その用途は溶接機の小型化は勿論、自動車産業で使用されるロボット溶接機のアプリケーションにも活用でき広い用途が期待される。

第4章 高速溶接制御技術の開発

4-1 高速溶接制御技術の開発（電流波形の推移）

高速溶接制御は溶接電流波形をどのように制御するかで溶接性が変わる。本研究開発では、図9に示す電流波形0から電流波形1.2へ推移して、高速溶接電流波形1.2が最適であることを多くの溶接実験で探求できた。その溶接時間は図9の電流波形0から1.2に改良を重ねた結果、最短15msで高速に溶接する制御を開発できた。

図9 本研究開発の溶接時間の推移



また、省エネ効果はSPC1.0tの溶接材で比較すると、
従来溶接の消費電力量 21.0kJ（溶接電流 5500A 溶接時間 15cycle（300ms））
本研究開発の消費電力量 2.7kJ（溶接電流 14000A 溶接時間 0.75cycle（15ms））
で、本研究開発の消費電力量は約1/7以下にできる。

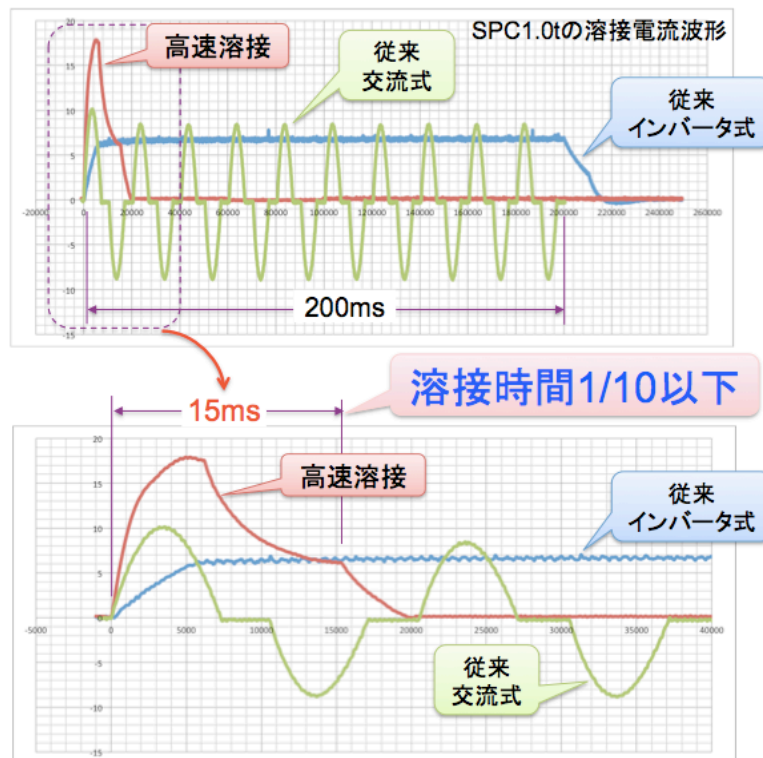
本研究開発の高速溶接制御技術は従来の1kHzから10kHzに周波数を上げて高精度に電流を制御する「制御電源」と「溶接トランス」を用いて「高速溶接用電流波形1.2」で溶接することで、最短0.75cycle（15ms）の短時間溶接ができ、それにより1/7以下の省エネ効果を上げることができた。また、溶接時間を1/10以下の0.75cycle（15ms）は生産性を飛躍的に向上できる。

4-2 最適な高速溶接電流波形の確立（電流波形の決定）

図10は高速溶接に適した電流波形を示したもので、従来の方式（交流式、1kHzインバータ式）との比較をしている。この事例では従来約200msの溶接時間が、本研究開発では15msの時間で実現できた。そして、15msで溶接できる高速溶接電流波形を確立することができた。

勿論、溶接材料の種類により異なるが、材質SPC1.0tの鋼板溶接の事例では従来比で1/13の溶接時間で所定の強度とナゲット径を得ることができた。

図10 最適高速溶接電流波形の開発



従来の交流式溶接との比較は交流溶接の1サイクル（20ms/50Hz）の時間以内で溶接できる。従来の交流溶接の電流立上がりは交流波形に依存するため、それ以上に高速に電流を立ち上げることはできず比較できない。1kHzインバータ式との比較では従来の1kHz溶接トランスの特性から、短時間に大電流を流すことができない。このような理由から本研究開発の高速溶接に適する電流制御は10kHzで高精度制御と10kHz溶接トランスの大電流立上がり特性が高速溶接を実現できた大きな理由である。

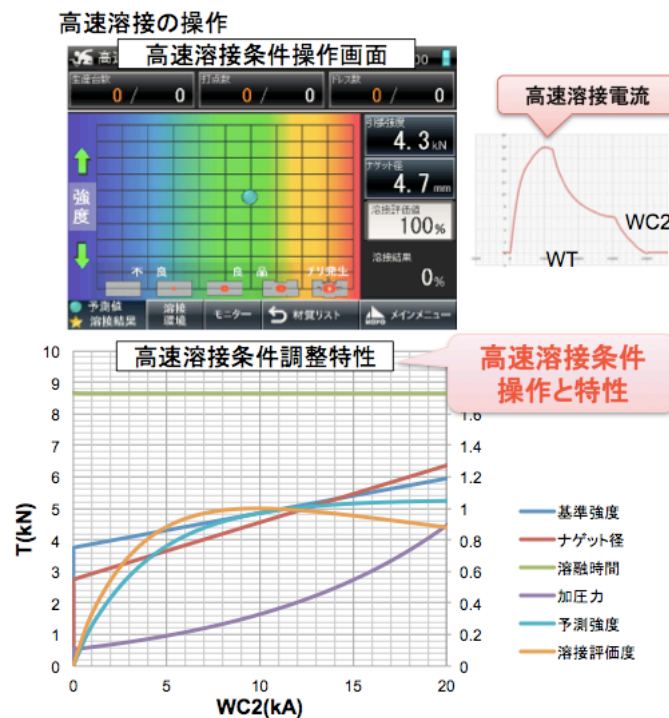
また、高速溶接は無駄な発熱を生じないため、溶接部の歪みが極端に少ないことも大きな特徴である。

4-3 高速溶接操作画面の開発

図 11 は高速溶接を行うための操作画面を示したものである。高速溶接電流波形は従来の溶接電流に比較して短時間に高精度に制御することと、その波形が複雑であることから、ユーザが容易に高速溶接を使用できる操作機能を実現した。

本研究開発の高速溶接の操作は複雑な電流波形の設定から溶接結果の指標である引張り強度又はナゲット径の値を直接設定して、その強度とナゲット径に最適な電流波形で溶接する。このため、ユーザは複雑な電流波形を意識すること無く高速溶接を行うことが可能である。

図 11 高速溶接の操作と評価



高速溶接操作は引張り強度またはナゲット径を設定して溶接するが、多くの溶接材料に適した「電流波形と引張り強度」の特性をデータベース化している。高速溶接電流波形と引張り強度のデータを用いて、図 11 で示す溶接強度をビジュアルに表示して誰でも容易に理解できるようにしている。また、溶接した結果を 100%評価で表現し、期待する電流波形を流すことができているかの評価度を表している。

第5章 最適な電極形状及び材質の開発

5-1 電極先端形状の検証

電極の先端形状を変化させて多くの溶接実験を実施した結果を図12に示しているが、高速溶接では溶接初期の電流を高速に立ち上げる必要があるため、接合材と電極間の接触抵抗で局部的に温度が上昇し溶着現象が発生し易くなる。このため、図12の6種の電極で試験した結果、電極R20が最も高速溶接に適することが分かった。

この理由は電極の先端が緩やかな先端形状（半径は大きい）のため、先端温度上昇が低減する為である。

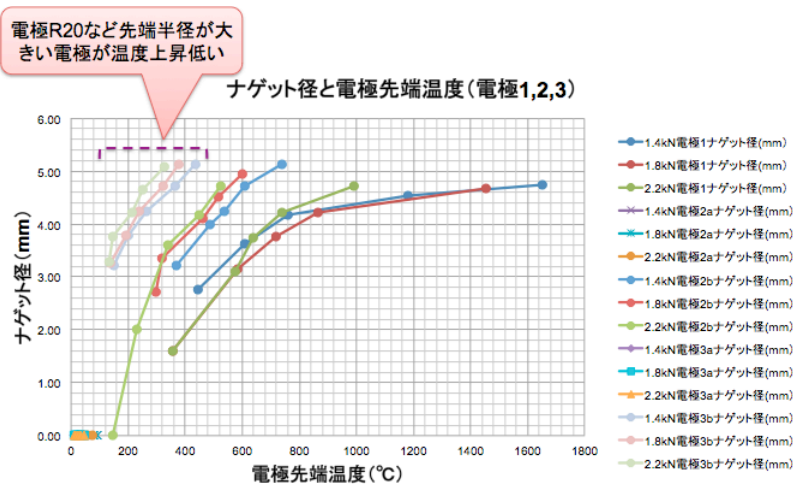
図12 電極先端形状と溶接性

検討電極	評価	備考
電極1 	△	先端形状: R6.5 【良】ナゲットでき易い 【否】溶着・散りが発生大
電極2a 	×	先端形状: フラット・3.5φ 【良】— 【否】ナゲットのバラツキ発生大
電極2b 	△	先端形状: R20・3.5φ 【良】— 【否】電極1より溶着・散り発生小
電極3a 	×	先端形状: フラット・6.0φ 【良】— 【否】ナゲットのバラツキ発生大
電極3b 	△	先端形状: R40・6.0φ 【良】大きい電流必要 【否】電極2bより溶着・散り発生小
電極R20 	○	先端形状: R20 【良】ナゲットでき易い 【否】溶着・散りの発生小

R20先端形状が最良

シュミレーション（図13）した結果からも電極R20が高速溶接に適している。

図13 電極先端温度のシミュレーション



5-2 溶着しにくい電極先端形状と材質の開発

高速溶接に適する電極先端形状は電極 R20 タイプであるが、高速溶接では初期の電流立上がりが早く電流も大きいため、溶接材料と電極先端間の溶着現象がおき易い。このため電極の先端の温度を低減する改良を重ねて電極 G3（電極の先端の材質を変えたもの）を試作して、評価試験を行った。溶着を低減できる効果はあるが連続溶接の評価結果で耐久性に問題があることが解った。

高速溶接では短時間で高い電流を流す傾向があるために、電極の先端の温度上昇を抑える必要があるが、これまでの溶接実験では溶着現象があるものの致命的な状況ではなく、電極 R20 形状のものを使用することができる。

しかし、電極の摩耗や溶接表面状態をより改善する為には、継続して電極先端温度を抑制できる電極の開発をして行きたい。特に耐久性と実用性には電極 G3 タイプの改良の検討も進めたい。

第6章 面直・追従性加圧機構の開発

6-1 追従性の良い加圧機構の開発

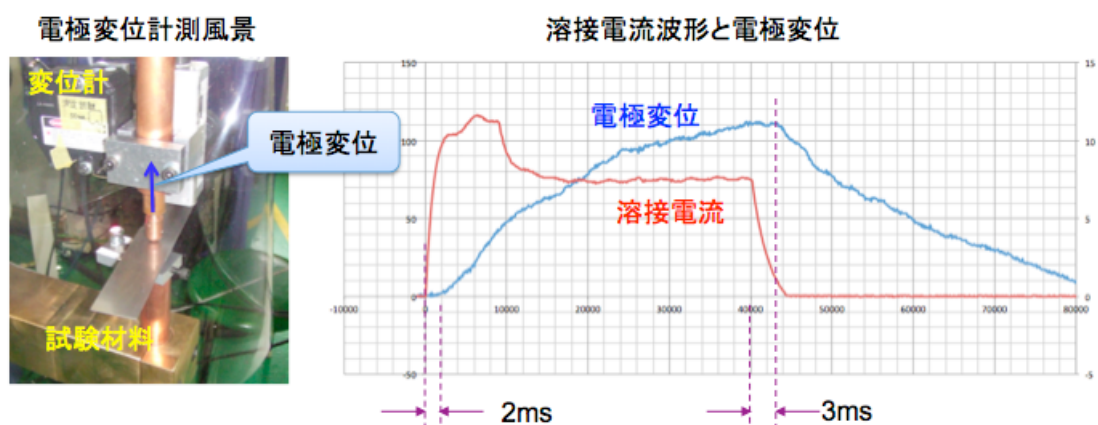
抵抗溶接における加圧機構の追従性とは溶接中の溶接材（接合材）溶融部（ナゲット部）が温度上昇により膨張するが、その溶接材の膨張を敏感に電極に伝わることで良い溶接ができる。ゆえに、流す溶接電流と電極の変位を計測することで、溶接材の膨張を敏感に捕らえられているかがわかる。

本研究開発では電極の変位を $0.025\mu\text{m}$ 単位の高精度で計測出来るレーザ変位計を用いて、溶接中の変位を計測した。図 14 が溶接電流と電極変位を計測したグラフである。

この結果から言えることは、電流が流れ始めてナゲット部の温度上昇で電極が上昇し始める時間が約 2ms で、電流が流れ終わり始めてナゲット部の温度が低下し電極が下がり始める時間は 3ms 程度である。この値であれば溶接性に大きな支障がないことが分かった。

ゆえに本研究開発の溶接機（PEN-T 溶接機）の加圧機構の追従性は電流波形に対して約 2ms から 3ms 程度で溶接性に問題無い。

図 14 電極変位と加圧機構の追従性（平成 23 年度）



追従性の良い加圧機構であることを確認する他の方法では、図 15 の溶接中に散りが発生した場合の電極の変位が発生することが分かる。

図 15 散り発生時の電極変位



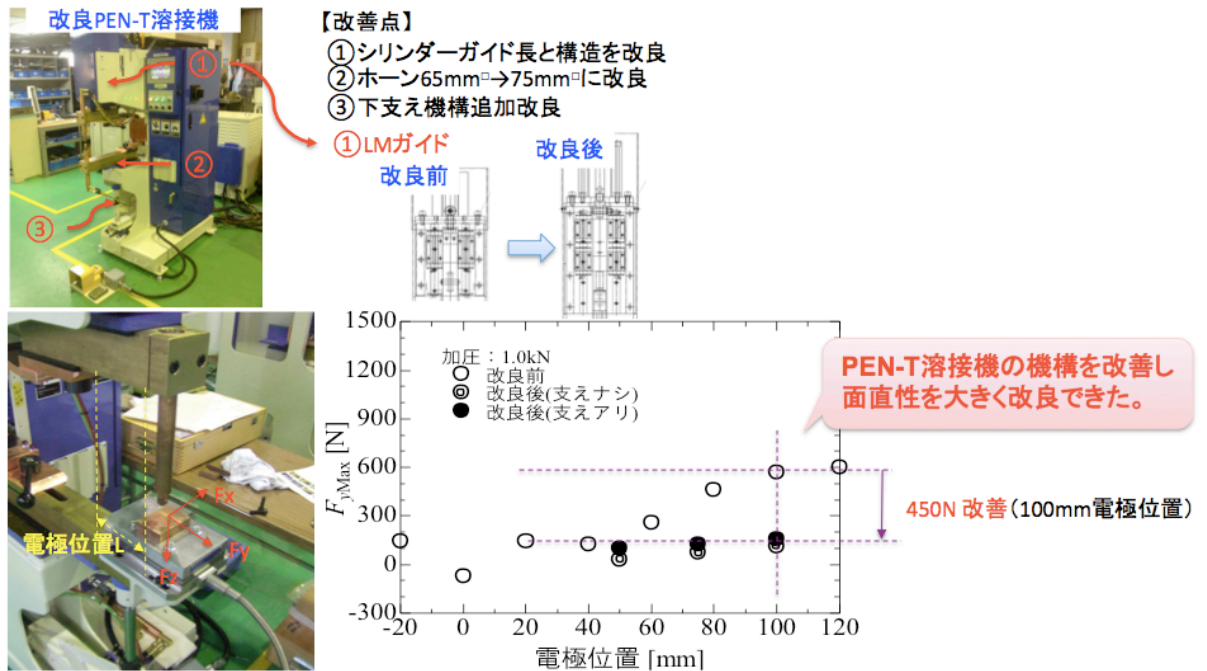
6-2 面直に加圧できる加圧機構の開発

PEN-T 溶接機（定置式）で問題になっていた面直性の改善を下記の3点を実施した。

- 1) シリンダーガイド長と構造を改良
- 2) ホーン65mmを75mmに延長
- 3) 下支え機構を追加

この結果、図16の力の分散グラフに示すようにY方向の分散力が大きく改善することができた。

図16 面直加圧の改良試験結果



これまででは溶接中に溶接材が溶融すると同時に、上部電極のズレが発生していた。これにより溶接点に変形する現象が発生し、溶接中の電流密度が微妙に変化することで高速溶接性に影響していた。

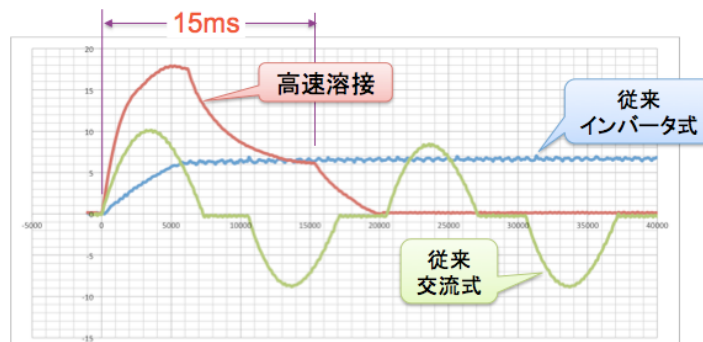
勿論、溶接材料やその溶接条件、特に加圧力が大きくなることで、電極のズレが大きくなる。改善前でも溶接材や加圧力により良好な高速溶接ができる場合があるも、今回の改良で溶接材や加圧力の影響が少なく安定した高速溶接を実現できるようになった。今後はより多くの溶接実験で面直性の改良度合を検証して行きたい。

第7章 高速溶接条件データベースの開発

7-1 高速溶接の確立（高速溶接電流波形の確立）

高速溶接の最適な電流波形を開発してきたが、高速溶接条件データベースを構築する為には、より詳細な高速溶接電流波形を確立して、電流波形の各部の時間や電流値の役割（効果）を確立し図17の波形にした。

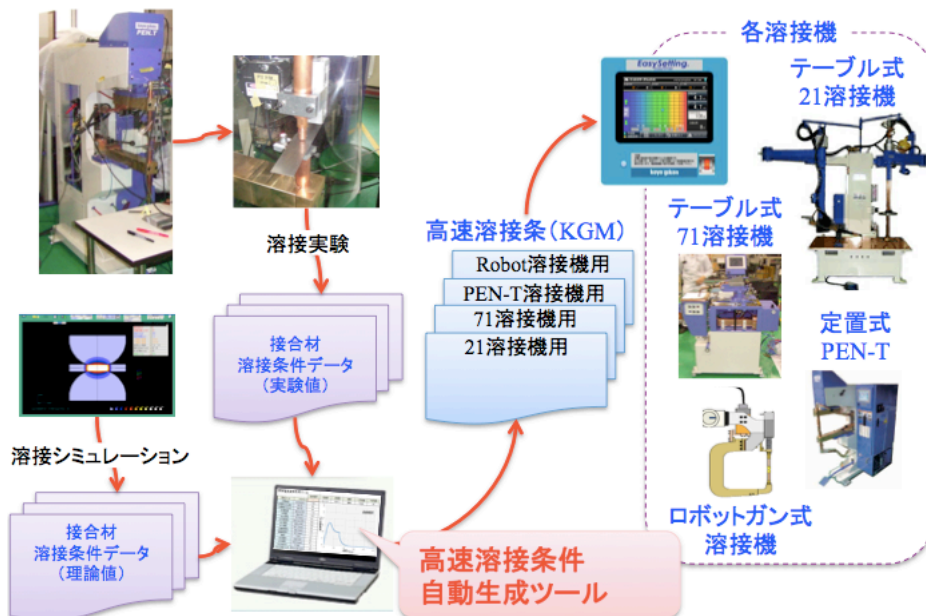
図17 高速溶接電流波形の確立（定義）



7-2 高速溶接条件データベースの構築

図18は高速溶接条件データベースの概要を示したものである。各溶接機に適した高速溶接条件データベースを作成するために、これまでの多くの溶接実験による実験値と溶接シミュレーションによる理論値を併用して、本研究開発で開発した自動生成するツールを用いて高速溶接条件データベースを作成する。

図18 高速溶接条件データベースの概要



この高速溶接条件データベース自動生成ツールを活用することで、毎回溶接実験を行わず過去の実績データを上手く活用することで、より最適な高速溶接条件データベースを生成することが可能である。そして、各溶接機の高速溶接条件データベース作成作業の効率を向上できる。

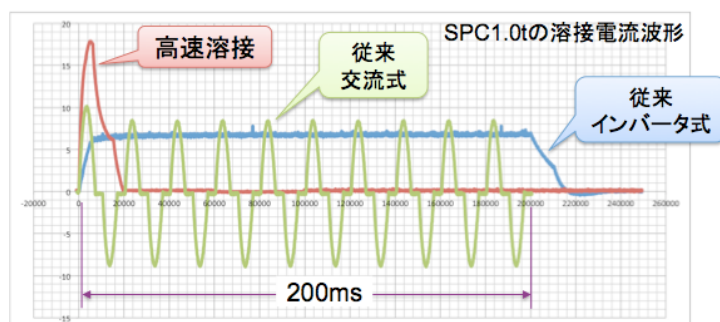
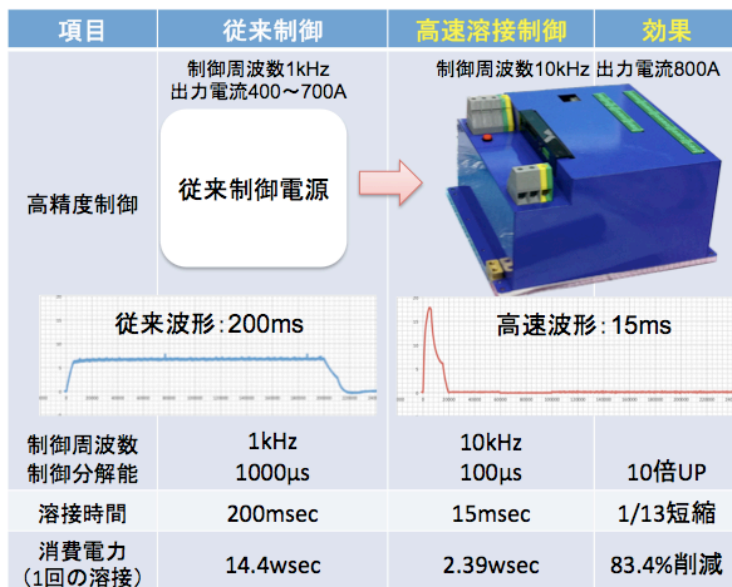
第8章 全体総括

8-1 研究開発成果のまとめ

8-1.1 高精度制御電源の開発成果

図 20 は高精度制御電源の開発成果で従来制御対比 10 倍以上の性能を実現できた。

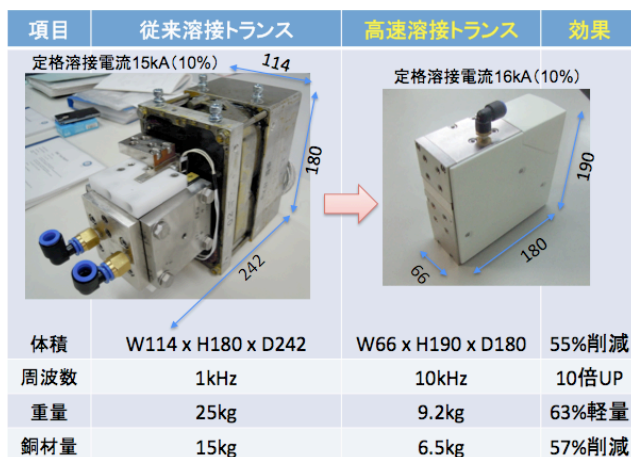
図 20 高精度制御電源の開発成果



8-1.2 高精度制御用溶接トランスの開発成果

図 21 は高精度制御用溶接トランスの開発成果で従来対比 1/2 以下の形状と 10 倍の性能を実現できた。

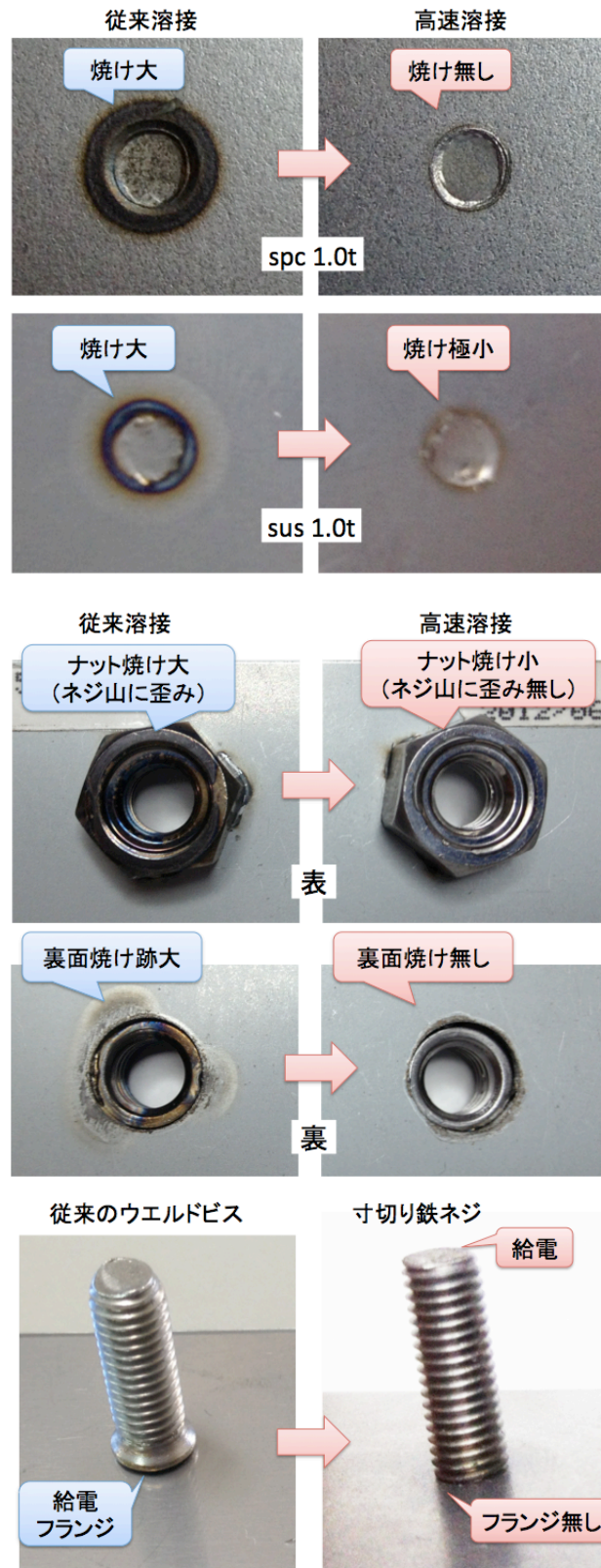
図 21 高精度制御用溶接トランスの開発成果



8-1.3 高速溶接技術の開発成果

図 22 は高速溶接技術を用いて溶接したサンプルで、従来に比較して飛躍的に溶接品質が向上した。

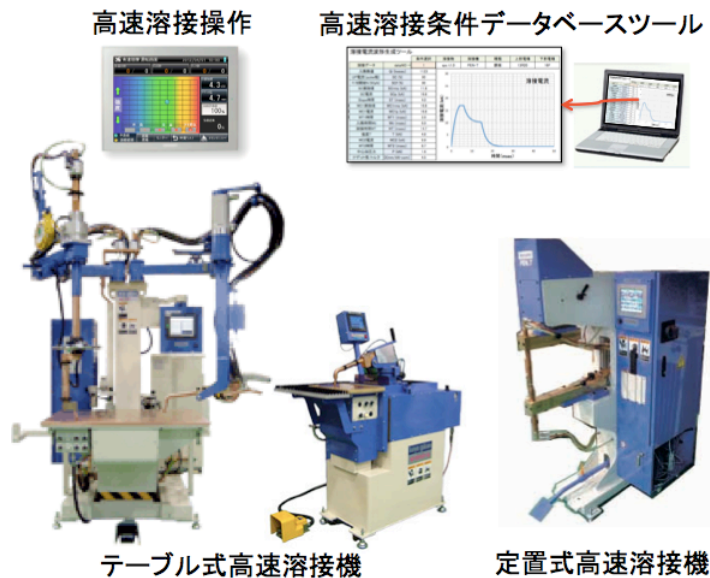
図 22 高速溶接技術の開発成果



8-1.4 高速溶接条件データベースの開発成果と応用した溶接機

図 23 は高速溶接条件データベースを用いて実現した溶接機で、テーブル式溶接機の2機種と定置式溶接機の1機種を製品化できた。

図 23 高速溶接条件データベースを用いた溶接機



8-2 研究開発の目標達成の状況

図 24 は平成 22～24 年度の3年間の本研究開発の目標達成状況を表している。4項目の最適な電極形状及び材質の開発を除けばほぼ満足の行く達成状況である。

図 24 研究開発の目標達成状況

高速溶接制御技術開発事項	目標値	平成24年度成果(達成率)	平成25年以降の課題
1. 高精度制御電源 2. 高精度制御用溶接トランス	制御分解能を10倍の10kHzにする	10kHz達成(100%) 10kHz達成(100%)	制御精度の向上 連続耐久試験
3. 高速溶接制御技術	0.3sを0.03s(1/10)の時間で溶接	1/5.5～1/13達成(100%) 実績値:0.2s→0.015s	最適波形の向上
4. 最適な電極形状及び材質	溶着しない電極	良好な電極であるも耐久性なし(60%)	耐久性の改善
5. 面直性の良い加圧機構	面直加圧と高追従性加圧	追従性問題無し(100%) 面直性H25.1改善(95%)	PEN-T溶接機の面直性 H25.1に改善
6. 高速溶接条件データベース	データベースの構築	データベースの構築(85%)	最適条件の継続改善

今後の課題

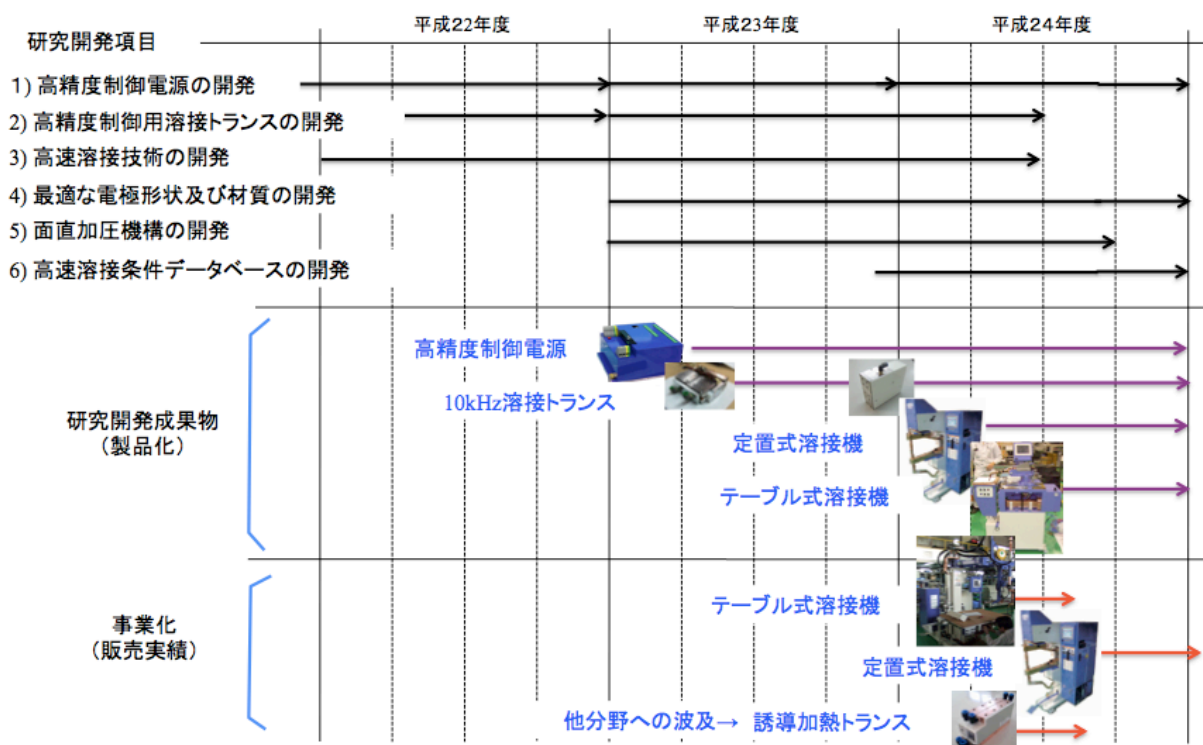
- (1) 高精度制御電源と溶接トランスの性能向上は勿論、コストダウンを進める。
- (2) 高速溶接に最適な電極の耐久性の改善を実施する。
- (3) 溶接実験による加圧機構の面直性評価を継続して実施して改善する。

今後高速溶接を使用して頂く多くの顧客情報(ニーズ)からより最適な高速溶接条件データベースに成長させる。

8-3 研究開発の実績スケジュール

図 25 は本研究開発の実績スケジュールである。進行の中で多くの難題もあり試行錯誤した課題も有ったが、最も重要な開発課題はほぼ 100%達成することができた。そして、成果物も改善の必要はあるものの満足のゆく完成度であった。

図 25 本研究開発の実績スケジュール



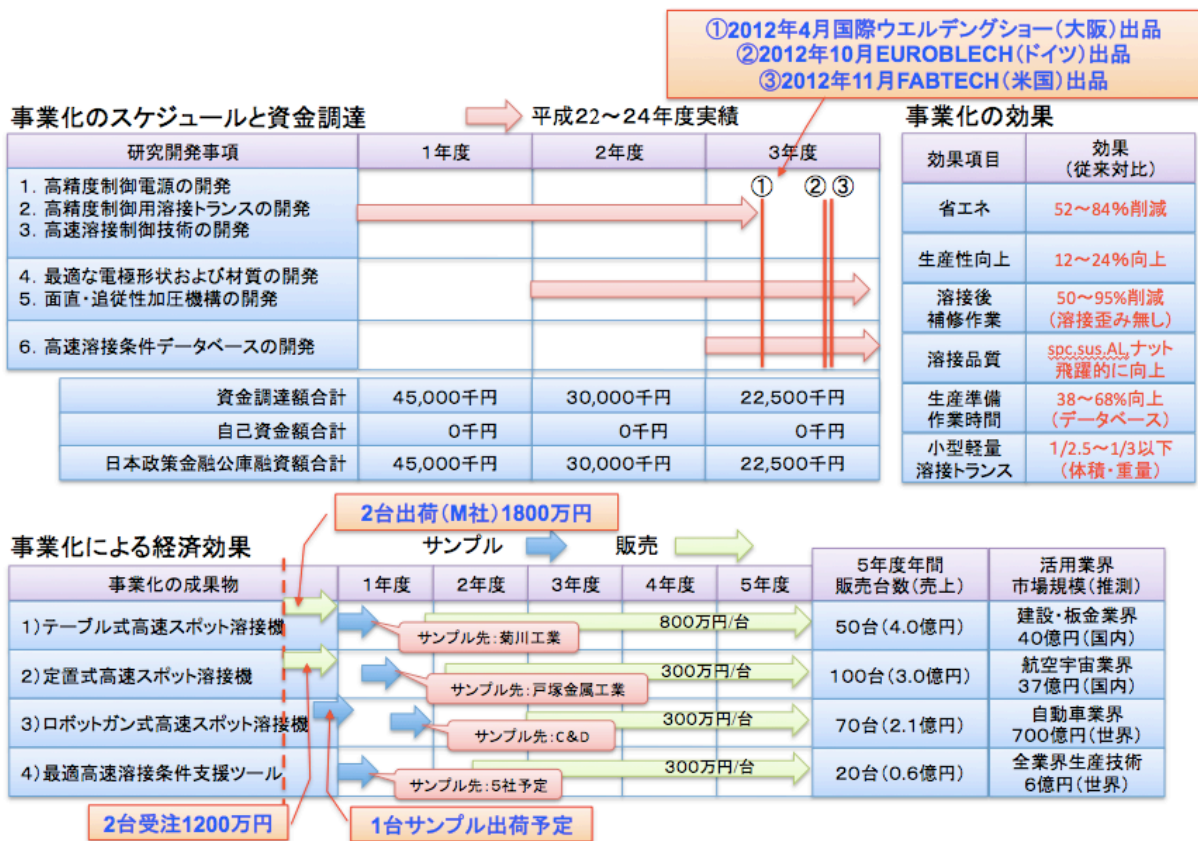
8-4 研究開発の事業化スケジュール

図26は本研究開発の事業化スケジュールであるが、平成24年には下記の3件の大きいイベントに本研究開発の高速溶接技術のサンプル出展を行った。

- 1) 2012年4月国際ウエルディングショー（大阪）に出品
- 2) 2012年10月EUROBLECH（ドイツ）に出品
- 3) 2012年11月FABTECH（米国）に出品

そして、平成24年10月より国内向けを中心に本件研究開発技術を用いた溶接機のサンプル出荷を初め、平成24年3月時点で5台の溶接機をサンプル出荷した。継続して受注活動をしており、計画より約半年早くサンプル出荷をすることができた。勿論、継続して本研究開発技術の機能追加や改善改良を進めている。

図26 本研究開発の事業化スケジュール



サンプル出荷し顧客から具体的な好評事例は下記を得ている。

- 1) 精密板金で歪みの無いアルミ溶接が可能（従来のコンデンサ溶接機より良好）
- 2) ステン材の溶接で焼と歪みが少ない溶接が可能
- 3) 焼けの無いナット溶接が可能
- 4) 表面打痕が極端に少なく後処理が不要

その他にビス溶接の裏打痕が無くなることや、フランジ無しのビス溶接などにも期待されているユーザがあり、本研究開発の高速溶接技術が多くのユーザに受け入れられ、大きな期待を寄せられている。

来年度（平成25年度）からは日本だけでなく世界に向けて本格的に販売活動を積極的に進める。本研究開発の高速溶接技術には大きな可能性を持っている。

8-5 本研究開発の高速溶接技術を用いた溶接機のサンプル出荷事例

下記の溶接機は本研究開発の高速溶接技術を用いた溶接機で、既にサンプル出荷し、ユーザにて活用して頂いている事例である。

- ① M社向けテーブル式溶接機 ② S社向け定置式溶接機 ③ I社向け定置式溶接機



8-6 本研究開発の謝辞

関東経済産業局様からの委託事業として平成22年から平成24年の3年間で本研究開発を進めて来ましたが、多くの難しい課題があったものの当社（向洋技研）の本研究開発を担当した皆さんは勿論、神奈川県産業技術センターの皆様や拓殖大学の皆様及び物造りのご協力を頂いた協力企業の皆様のご支援で、本研究開発の高速溶接技術の開発を成し遂げることができました。既にスタートした事業化で顧客から好評を得ていることから大きな成果を得たと言えます。

今後も本研究開発の高速溶接技術をより進化させて、日本の産業の発展に寄与できることを願ってご支援頂きました全ての方々に感謝申し上げます。

- 以上 -