解　説

新型抵抗スポット溶接機の開発

Development of Advanced Equipment of Resistance Spot Welding

渥美健太郎 Kentaro ATSUMI
阿部千明 Chiaki ABE
河田直樹 Naoki KAWADA
岡田　寿 Hisashi OKADA

ステンレス鋼製車両構体の接合では主に抵抗スポット溶接が適用されている．抵抗スポット溶接における要求事項には接合部の継手強度はもちろんのこと，近年では低コスト化および高品質化も重要になってきている．そこで当社では，新型抵抗スポット溶接機を開発し，それらの要求事項に答えていくための研究開発を行うこととなった．
本稿では，今回導入した新型抵抗スポット溶接機についての解説と課題について述べる．

1　はじめに

ステンレス鋼製車両の構体製作では，その接合方法として抵抗スポット溶接が多用されている．一般的な製造物の要求事項として低コスト化および高品質化が叫ばれて久しいが，それは鉄道車両の製造に多用されている抵抗スポット溶接も同様である．これらの要求事項の対応には溶接条件だけでなく設備の構成まで立ち戻る必要があると考えられる．

そこで，今後のステンレス鋼製車両に適用するスポット溶接機の最適解を模索するため，新型抵抗スポット溶接機を試験的に導入した．本稿では，この新型抵抗スポット溶接機の概要と，今後取り組むべき課題について解説する．

2　新型抵抗スポット溶接機

2．1　概要

今回導入した新型抵抗スポット溶接機のブロック図を図1，仕様を表1に示す．設備の基本構成は一般的な定置式スポット溶接機をベースにしており，想定される試験の実施内容に対応するため，以下に示す4つの機能を付加した．

Ⅰ．電源切換機能
Ⅱ．モニタリング機能
Ⅲ．可変加圧機能
Ⅳ．通電方式切換機能

これら4つの機能を組み合わせることで，抵抗スポット溶接に関する様々な試験に対応することを可能とした．その詳細について次節以降で解説する．

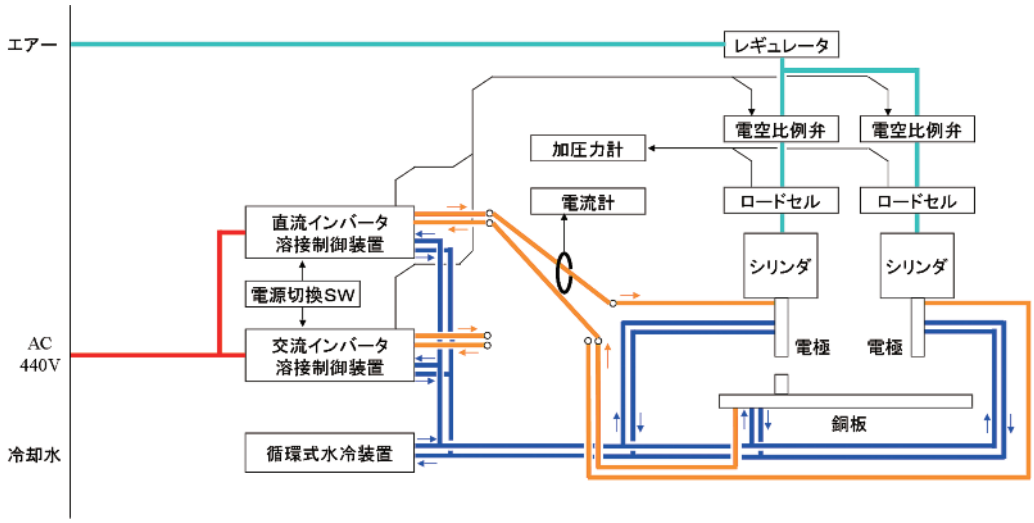

図1　新型抵抗スポット溶接機ブロック図

表1　新型抵抗スポット溶接機仕様

項目		単位	仕様	
型式			SLI-100STH	SLAI-100STH
定格入力電圧		V	600	
定格容量		kVA	100	
定格周波数		Hz	700	50
最大溶接入力		kVA	214	297
最大短絡電流		kA	25	
最大加圧力		kN	9.8	
許容使用率		%	10.9	5.7
フトコロ寸法	深さ	mm	900	
	開き	mm	200	
電極ストローク	引上時	mm	75	
	溶接	mm	25	
キャップチップ	直径	mm	16	
	テーパ	mm	1/9.6	
冷却水量		L/min	25	
質量		kg	1800	
溶接トランス	電源方式	-	直流	交流
	型式	-	HFSL-100	SLP-125A5/B5
	巻数比	-	60	32
制御装置	型式	-	DIT-543-4	AIT-1644-4
	入力電圧	-	三相 440V 50Hz	

２．２　電源切換機能（Ⅰ）

２．２．１　新型機の構成

新型機では直流インバータ方式と交流インバータ方式の電源を設置し，切換スイッチで選択可能な構造を採用した．直流インバータ方式の一般的な回路を図2，交流インバータ方式の一般的な回路を図3に示す．

一般的に直流インバータ方式は，インバータ装置を利用して溶接変圧器に供給される電源の周波数を600Hz～10kHz程度に高め，溶接変圧器の鉄芯（コア）寸法を大幅に小さくして変圧器の外形寸法の小型化を実現した電源方式である（図2参照）．整流後の二次側回路には直流電流が流れるため，単相整流式や三相整流式と同様，フトコロ寸法の大きな溶接機（腕の長い溶接ガン）と組み合わせても溶接電流の低下が少なく，省エネルギの観点から効果がある．

一方の交流インバータ方式は，直流インバータ方式で開発されたインバータ装置を，通常の単相交流用変圧器に接続して動作させる方式である（図3参照）．溶接変圧器の二次側には整流器を挿入せず，インバータの動作を制御することで二次側に流れる溶接電流波形を自由に設定できる利点を持つ．また，出力波形を商用周波数の矩形波電流を出力するように設定すると，手持ちの単相交流溶接システムの制御装置の交換だけで直流電源と同様の温度脈動の小さな溶接過程が実現できる[(1)]．

２．２．２　検討課題

現在，当社では直流電源が採用されているが，電源方式が溶接性などに与える影響についてはあまり分かっていない．そこで，交流電源および直流電源の差が溶接性，経済性，品質などに与える影響について検討する．

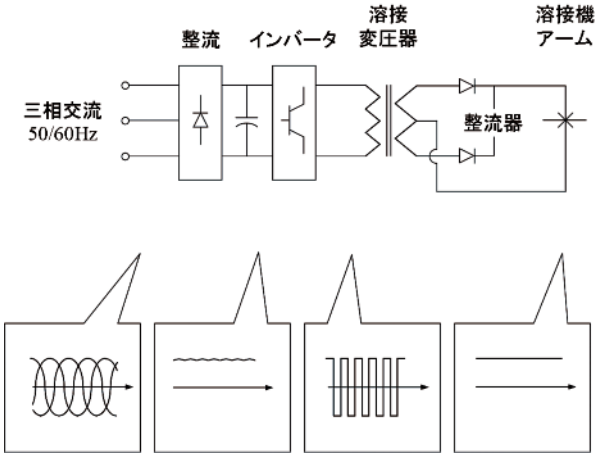

図2　直流インバータ回路（例）

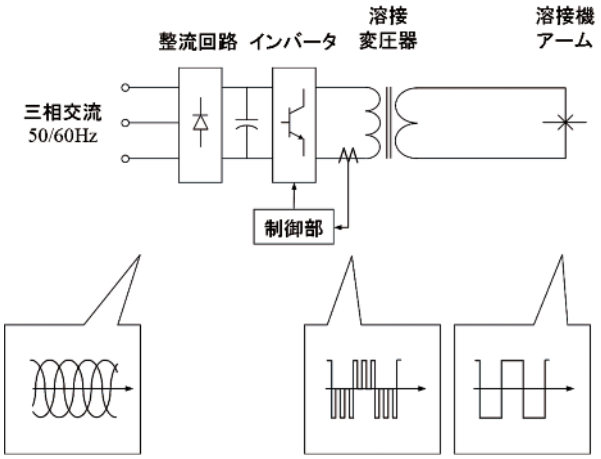

図3　交流インバータ回路（例）

２．３　モニタリング機能（Ⅱ）

２．３．１　新型機の構成

新型機では電極加圧力および電流値，通電時間の測定機能を付加した．まず，電極加圧力は加圧ガイドにロードセルを組み込むことでスポット溶接中の加圧力を測定することが可能な構成とした．また，電流値の測定機能を付加したことによりスポット溶接中の電流値と通電時間を把握できるようになった．

２．３．２　検討課題

電極加圧力および電流波形の測定機能により，スポット溶接中の各パラメータの変動をモニタリングすることが可能となった．これによりスポット溶接中の現象把握をすることができ，その結果を溶接条件選定にフィード

バックさせることで，高精度なスポット溶接条件設計が可能となることが期待される．

２．４　可変加圧機能（Ⅲ）

２．４．１　新型機の構成

従来機における溶接シーケンスの例を図4，新型機の溶接シーケンスの例を図6に示す．従来機の加圧力は加圧のためにシリンダに送り込まれるエアーの系統の制御を，電磁弁のON/OFFによって制御する仕組みであった（図4上段）．そのため，ワークを挟み込む加圧力は，溶接シーケンスの間一定の設定しか出来なかった（図4中段）．一方，新型機の加圧力は，エアー系統の制御に電磁弁ではなく電空比例弁を採用した（図6上段）．電空比例弁とは，加圧用エアー流路の開度を，制御信号の電流値に比例して無段階に制御することが出来る電磁弁で，これにより，電極先端での加圧力を溶接シーケンス中に任意に変化させることが出来る（図6中段）．

２．４．２　検討課題

この可変加圧機能によってスポット溶接施工箇所（圧痕という）の外観の向上について検討する．当社では2013年に可変加圧機能を搭載したスポット溶接機（「SmartRSW」）を開発し，圧痕外観の向上を念頭に試験を実施した．その結果の一例を図5に示す．可変加圧機能を用いることで圧痕外観の向上，具体的には焼焦げの軽減や歪の減少などを達成した[(2)]．

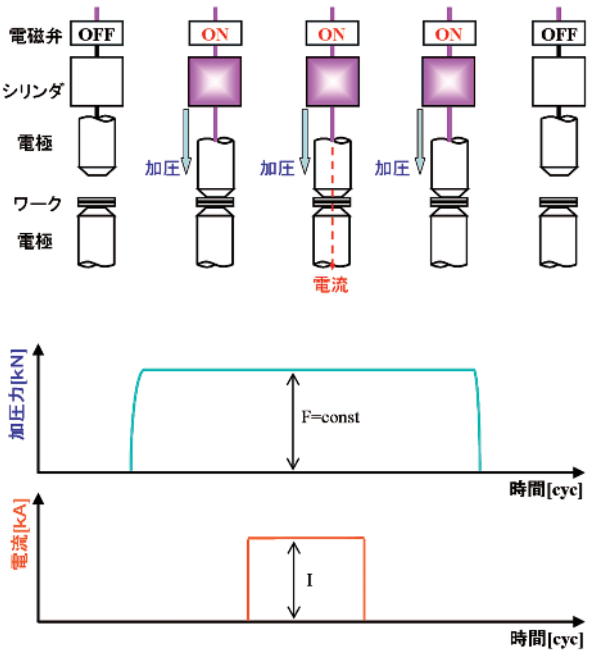

図4　溶接シーケンス（従来機）

この技術は「sustina」1号車でも採用されている．今回の新型機では「SmartRSW」での実績をもとに，圧痕外観向上のさらなる深度化を進めていく．

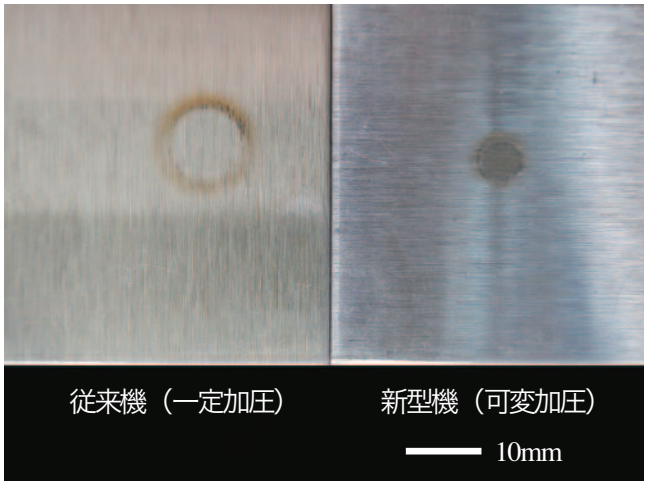

図5　可変加圧力による圧痕外観改善例（現車相当）

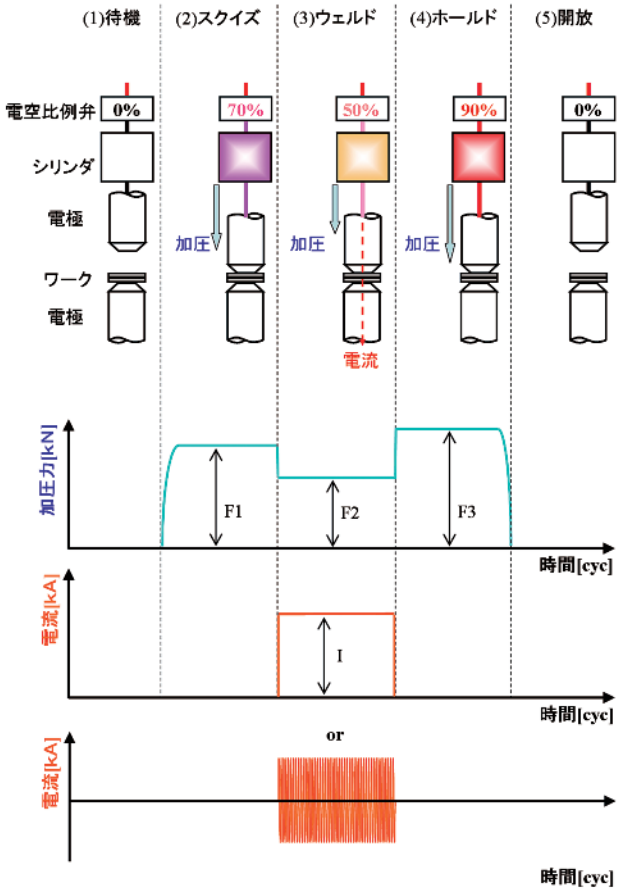

図6　溶接シーケンス（新型機）

2．5　通電方式切換機能（Ⅳ）

2．5．1　新型機の構成

通電方式切換機能の模式図を図7に示す．新型機では上部電極が2本あり，下部電極は電極1本または銅板電極を選択可能な構造を採用した．これにより，1台のスポット溶接機で2種類の通電方式（ダイレクト通電方式とシリーズ通電方式）で試験が可能となった．

2．5．2　検討課題

この通電方式切換機能でシリーズ通電方式の側ー台枠結合への適用を検討する．シリーズ通電方式を採用した場合のメリットおよびデメリットを表2に示す．当該施工箇所の接合は現状，インダイレクト通電方式（図8左側）を採用しているが，この通電方式では側ハリ下部に電極を接触させる必要があり，その接触点で焼焦げる現象が発生している（図9参照）．シリーズ通電方式では側ハリ下部には焼焦げが発生しないため，耐食性向上および外観向上の効果が期待できる（図8右側）．また，1回の通電で2ヵ所を接合する工数低減の効果も期待できる．一方，シリーズ通電方式では上下段個別の溶接条件設定ができないなどのデメリットもあるため，これらも鑑みながら検討を進めていく．

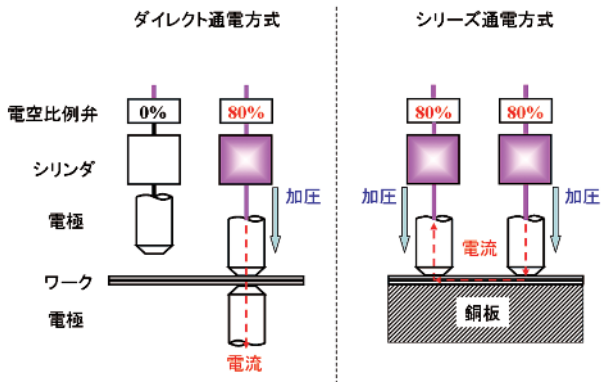

図7　通電方式切換機能（新型機）

表2　通電方式の差によるメリット・デメリット

	シリーズ通電方式（検討中）	インダイレクト通電方式（現行法）
通電1回当りの接合部	2ヵ所	1ヵ所
側ハリ下部の焼焦げ	無し	有り
上下段個別の溶接条件設定	不可	可
外板が厚い車両の側ハリへの溶込み確保	難しい	易しい

緑字：メリット
赤字：デメリット

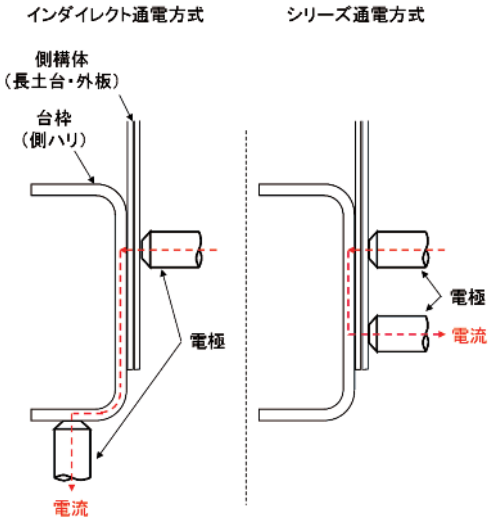

図8　側ー台枠結合（検討事項）

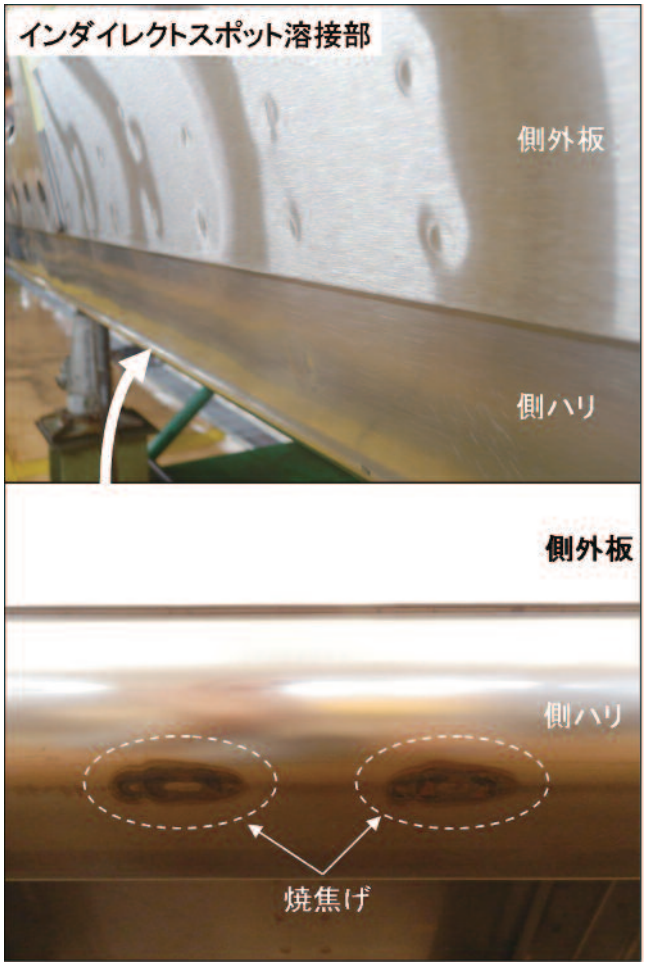

図9　側ー台枠結合部外観（現車相当）

3 設備性能

3．1　加圧力

電極加圧力の測定結果を図10および図11に示す．新型機で実施する試験では，ワークの材質はステンレス鋼を想定している．そのため，設備の最大加圧力を10kN程度とし，設定値0%から100%の間で安定的に加圧力を得られるよう設定した．

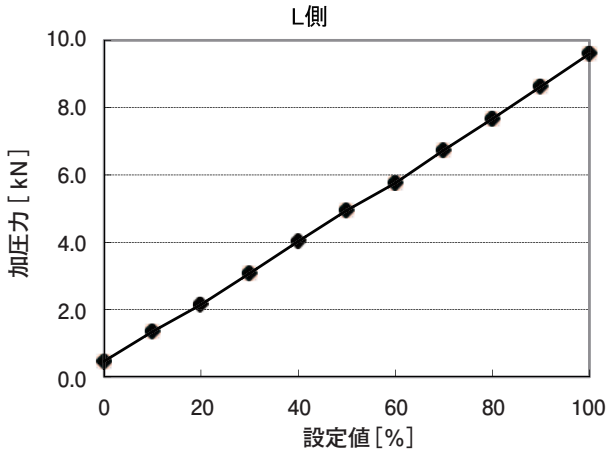

図10　電極加圧力測定値（L側）

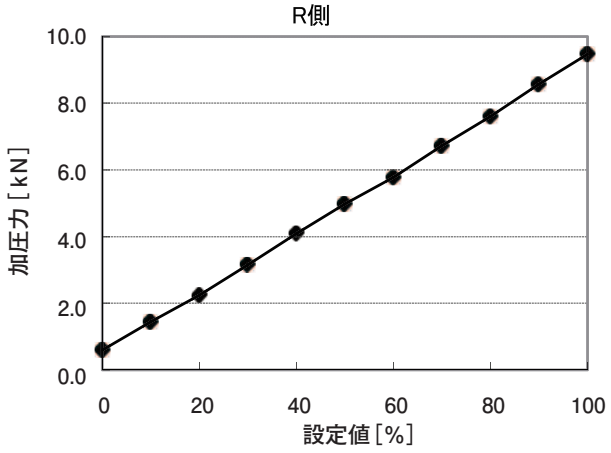

図11　電極加圧力測定値（R側）

3．2　電流値

電流値の測定結果を図12および図13に示す．新型機では最大25.0kA程度とし，3.0kAから25.0kAの間で安定的に電流値が出力されるよう設定した．

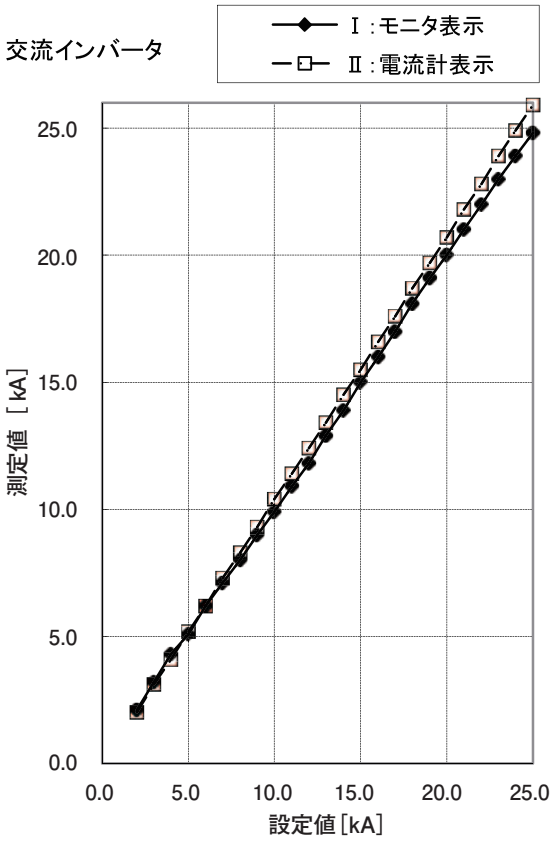

図12　電流測定値（交流インバータ）

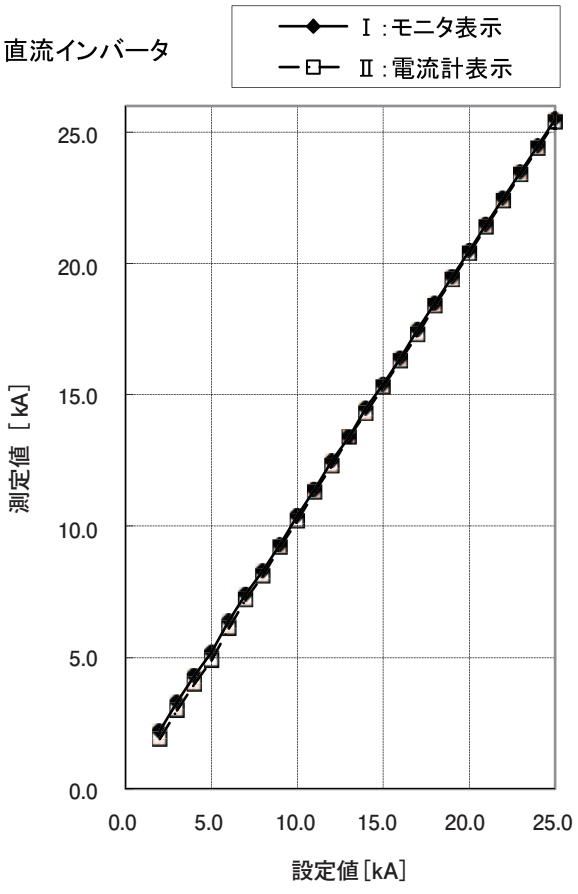

図13　電流測定値（直流インバータ）

4 まとめ

ステンレス鋼製車両におけるスポット溶接には，様々な要求事項がある．以下にその一例を示す．

・工数低減（溶接時間の短縮，不具合事象の低減など）
・圧痕外観品質向上
・省エネルギ化

これらの要求事項を解決していくためには，溶接条件（加圧力，電流値，通電時間，電極形状など）だけではなく，設備（電源，通電方式，加圧力制御機構など）も含めての検討が重要であると考える．

そして，これらの検討段階においてはインプット（溶接条件など）とアウトプット（圧痕外観，ナゲット径，溶込みなど）だけでなく，溶接中の現象（加圧力，電流値の時間変化など）も把握したうえで進めることは，コスト低減および品質向上を進めていく中で非常に大きな意味をもつ（図14参照）．

今回導入した新型機において抵抗スポット溶接の品質向上およびコスト低減を主眼に研究を進め，そこで得られた結果を，順次製品に適用しステンレス鋼製車両の品質向上を進める．

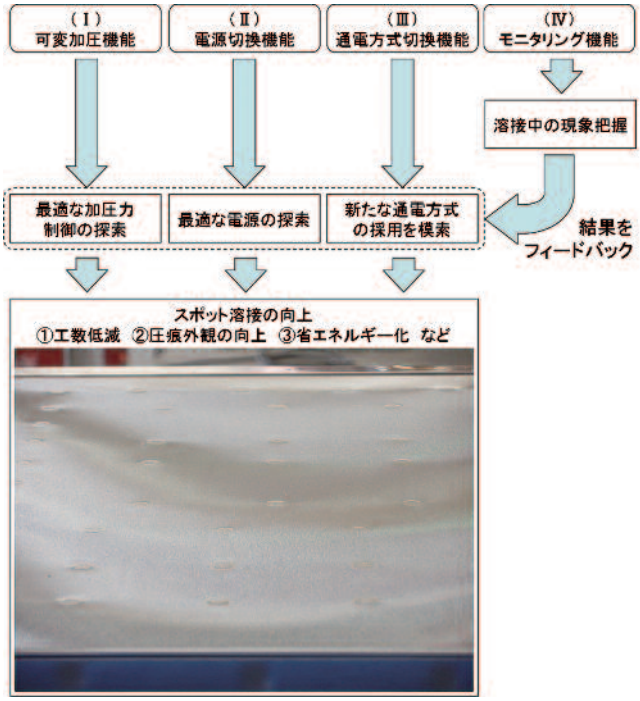

図14　検討課題

参考文献

(1) 松山欽一, 他：「抵抗溶接の基礎と実際」, 60, (2011), 産報出版
(2) 渥美健太郎，他：「抵抗スポット溶接システムSmartRSW®を用いた鉄道車両の圧痕外観向上に関する研究」，総合車両製作所技報 1号，2-9，(2013)，(株) 総合車両製作所

著者紹介

渥美健太郎
生産本部
技術部（接合技術センター）

阿部千明
生産本部
技術部（接合技術センター）主査

河田直樹
博士（工学）
生産本部
技術部（接合技術センター）主査

岡田　寿
生産本部
技術部（接合技術センター）課長