

持続可能なレールガス圧接法の確立をめざして



山本 隆一
Ryuichi Yamamoto
前 軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室長
(現 鉄道国際規格センター 上席主査)



伊藤 太初
Hajime Ito
軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室
主任研究員

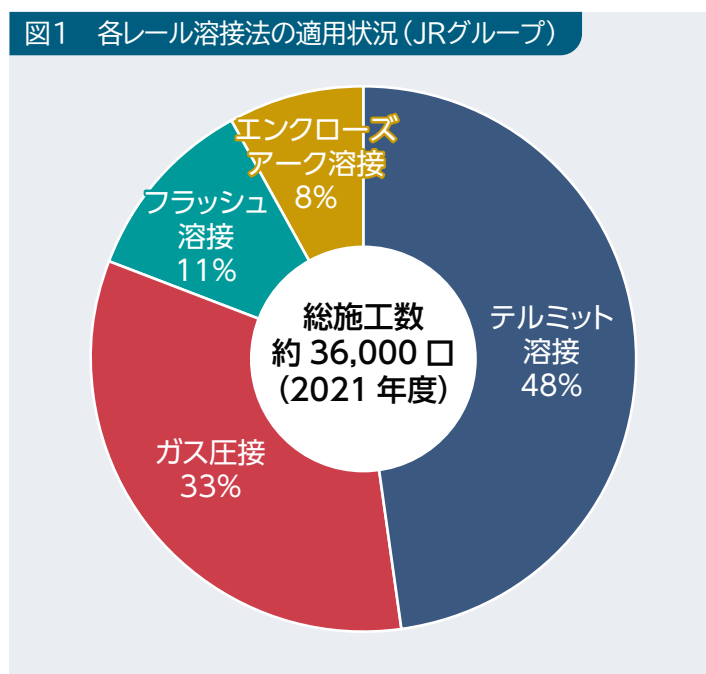
はじめに

レールとレールのつなぎ目では、騒音・振動が発生し、さらに、レールに衝撃が加わるため、レールを溶接することでつなぎ目をなくしたロングレール軌道が、新幹線などの高速鉄道、および主要な在来線では一般的になっています。日本では、ロングレール化のための溶接方法としてフラッシュ溶接、ガス圧接、テルミット溶接、エンクローズアーク溶接の4工法が適用されており、各工法の特徴に合わせて使い分けられています。このうち、ガス圧接法は、加熱にガス炎を用いるため、大規模な電源などが不要で、機動性に優れた特徴をもっており、主に現場仮設基地にて実施される一次溶接およびレール敷設箇所の線路脇で実施される二次溶接に用いられています。また、新幹線の一部では線路上での三次溶接にも適用されています¹⁾。図1にJRグループにおける各レール溶接法の適用状況を示すように、JRグループにおけるレール溶接総施工数は年間約3.6万口であり、そのうち約33%がガス圧接法による施工となっています。

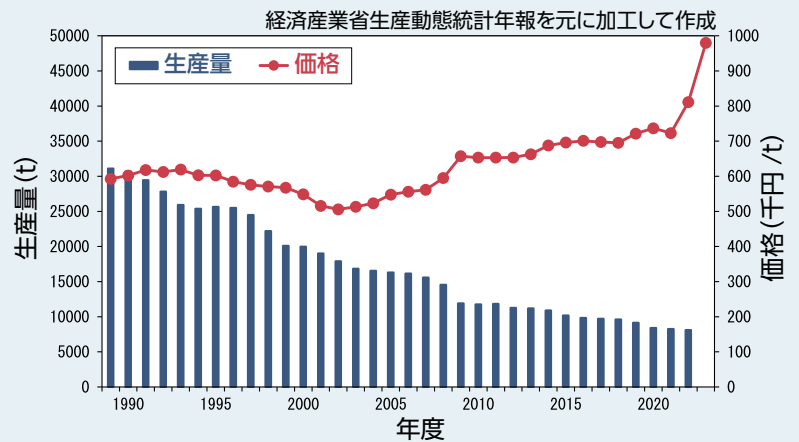
しかしながら、ガス圧接作業にお

いて燃料ガスとして用いられているアセチレンガスは、溶接業界をはじめとした工業界における産業構造変化に伴う需要低減および原材料価格の高騰にともなって生産コストが上昇しており²⁾コラム、今後供給が滞る可能性があります。さらに、アセチレンガスは、酸素との燃焼反応にともないCO₂(二酸化炭素)を発生するため、脱炭素化の流れの中で、使用を制限する動きが生じています。これらを考慮すると、『アセチレンガスに代わる環境負荷の小さいガスを用いたレールガス圧接法』の開発が必要と言えます。

図1 各レール溶接法の適用状況 (JRグループ)



アセチレンガスによる燃焼炎は約3300℃とほかの燃料ガスに比べて大きな熱量が得られます。そのため、ガス切断やガス溶接などの金属加工の分野で古くから多く用いられてきました。しかしながら、プロパンガス、水素ガスなどの代替ガスの適用やプラズマアークやレーザーといった新しい熱源を利用した加工法の開発により、その需要は大きく減っています。図Iに1989年以降のアセチレンガス(溶解アセチレン)生産量および販売価格の推移を示すように、この30年間で生産量は1/3に減少し、価格は約1.5倍に増加しています。特に昨年から電力料金や原材料価格の高騰により急激に価格が増加しています。今後もアセチレンガスの需要が大きく増加する可能性は低く、緩やかに減少していくことが予想されます。



図I アセチレンガス(溶解アセチレン)の生産量および価格の推移

コラム「近年のアセチレンガスの動向」

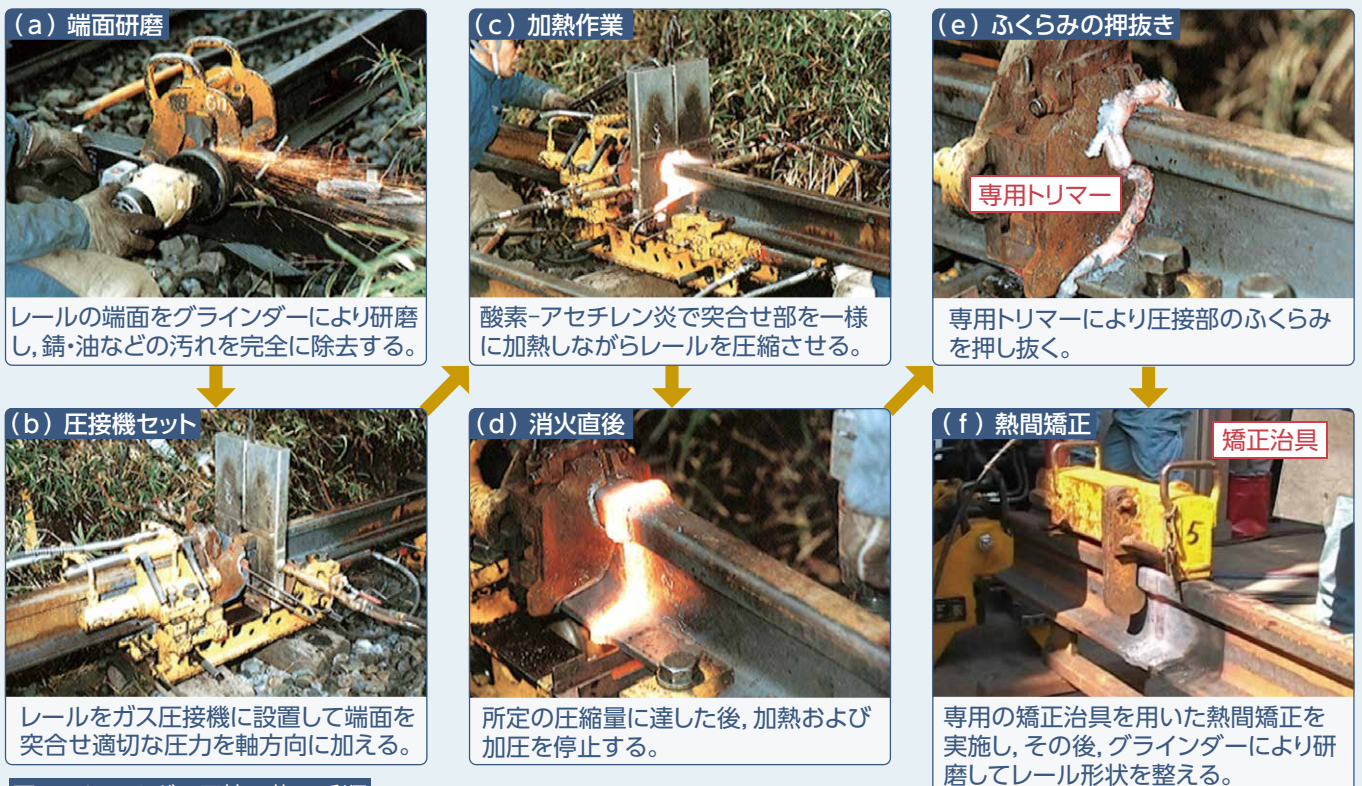
一方、現行のレールガス圧接作業^{コラム}では、レール端面の研削作業やバーナーによる加熱作業をはじめとし、熟練技能を必要とする工程が存在します。したがって、近年の社会情勢の変化による熟練作業員不足が予測される中、ガス圧接部の品質を確保しつつ、これら技能を要す

る作業工程の脱技能化を図る必要があります。

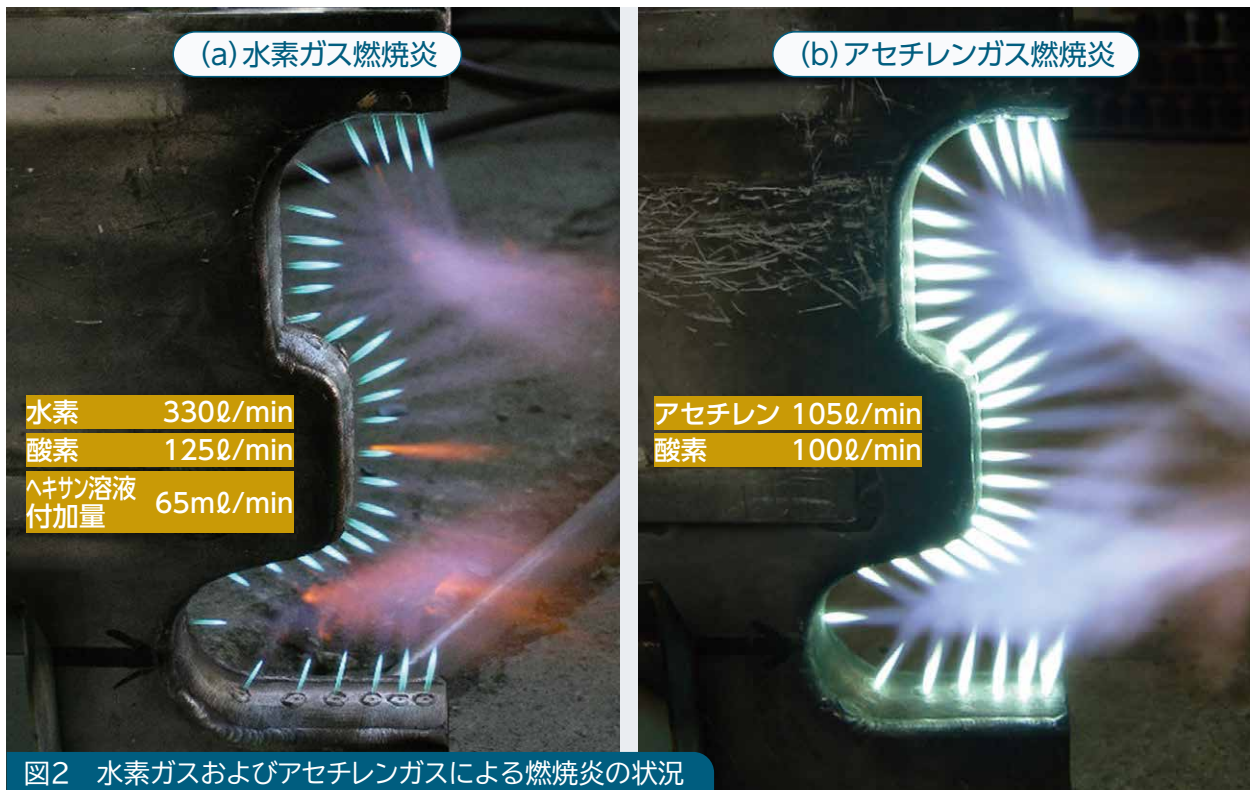
このような状況を鑑み、鉄道総研では、ガス圧接技術を将来においても継続して使用できるよう取り組んでいます。ここでは、“レールガス圧接作業の脱炭素化”および“作業工程の自動化”に関する取り組み内容について紹介します。

コラム「レールガス圧接作業」

ガス圧接法は、レールの突合せ部をガス炎により高温に加熱し、高い圧力で圧縮変形させることにより、接合面の金属結合を達成する手法です。図IIにガス圧接の施工手順を示します。



図II レールガス圧接の施工手順



レールガス圧接作業における 脱炭素化の取り組み

水素ガスをガス圧接作業に適用するための方策

鉄道総研では、『環境負荷の小さいガスを用いたレールガス圧接法』の必要性を認識し、2000年頃から、水素ガスのガス圧接への適用可能性について検討してきました。水素ガスは酸素との燃焼反応でCO₂を発生させない理想的な燃料ガスといえますが、水素ガス単独では、燃焼速度が非常に速く、その取り扱いには慎重が必要となります。図2にレールガス圧接用バーナーによる水素ガスの燃焼炎を従来のアセチレンガスの燃焼炎と比較して示します。水素ガスは、燃焼速度が速いことに起因し、燃焼炎の形成範囲が狭いため、圧接部の品質を確保するうえで重要となるシールド性^㉔が劣るとい

問題点があります²⁾。そこで、燃焼炎に“安定性”および“シールド性”を付加するための方法について検討し、ヘキサンのような炭化水素を一定量付加することで、両方の特性を同時に実現できることを明らかとしました²⁾。また、水素ガスと組み合わせる炭化水素についても、将来的な安定供給の見通しを含めて検討を行ってきました。そして、水素・エチレン混合ガスを用いるレールガス圧接法を提案するに至っています³⁾。

水素・エチレン混合ガスを用いるレールガス圧接法

水素・エチレン混合ガスを用いるガス圧接法でJIS60kg普通レールを接合する場合の標準仕様を図3³⁾に示します。レールガス圧接時の加圧力および圧縮量は、いずれもアセチレンガスを用いる現行法と同一です。また、加熱関連機

㉔ シールド性

鉄が高温状態にさらされると表面に酸化物(FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄など)が生成しやすくなります。このような酸化物は突合せた鉄同士の接合を阻害する因子となるため、できる限り生成を抑制する必要があります。ガス圧接では、燃焼炎で接合部を覆うことで、突合せ面における酸化介在物の生成を抑制しており、この能力をシールド性とよんでいます。

1. 使用燃料

水素・エチレン混合ガス(水素：エチレン=60%：40%)，酸素ガス

2. 使用機器

加圧装置, 押抜き装置：現行法と同一機器を適用

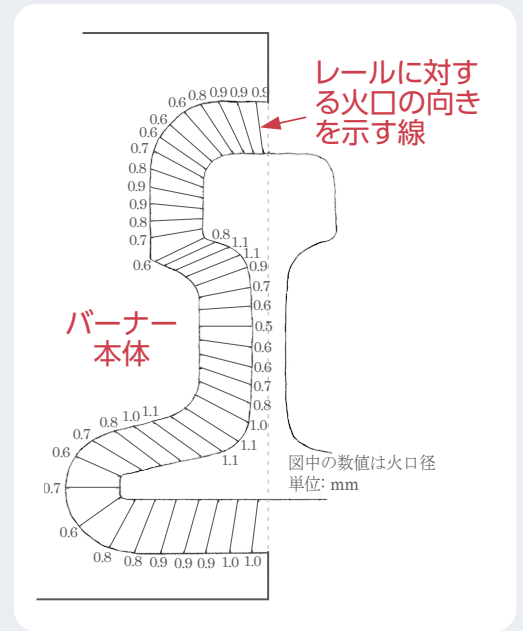
加熱バーナー：付図 1 に示す構造のものを適用

3. 接合条件

付表 1 に示す接合条件を適用

付表 1 接合条件

| ガス流量 (ℓ/min) | | 加圧力 (kN) | 圧縮量 (mm) |
|--------------|------|----------|----------|
| 水素・エチレン混合ガス | 酸素ガス | | |
| 135 | 130 | 170 | 24 |



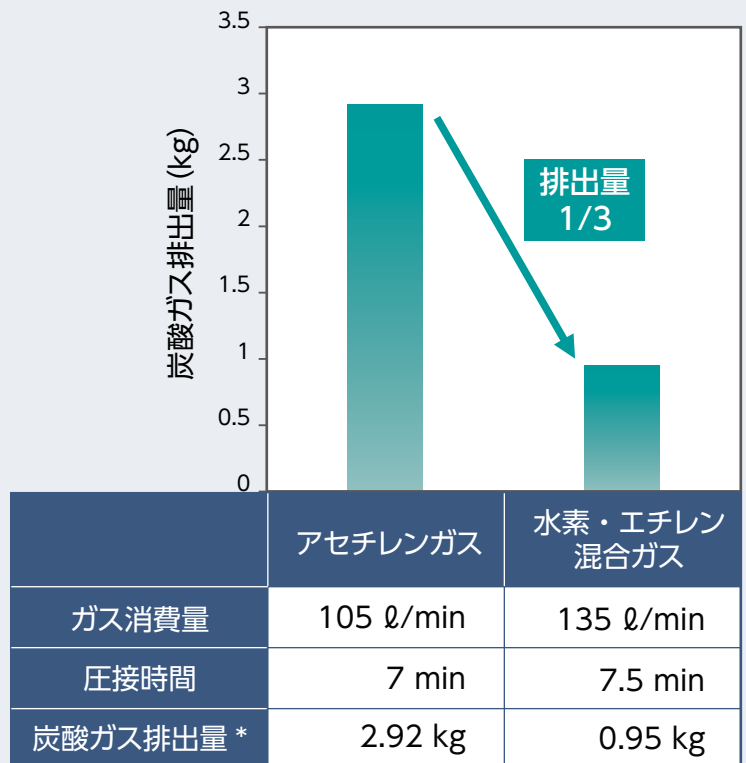
付図 1 加熱バーナー構造

図3 水素・エチレン混合ガスを用いるレールガス圧接法の標準仕様 (JIS 60kg普通レール)

器以外については、現行法での使用機器をそのまま適用できます。さらに、当ガス圧接法の適用により期待される環境負荷低減効果を評価するため、JIS60kg普通レールを接合する場合のCO₂排出量を試算し、現行法における排出量と比較しました。図4³⁾に試算結果を示すように、当ガス圧接法を適用することで、CO₂排出量を現行法の1/3程度に削減できます。レールガス圧接工事の数量を考慮すると、本レールガス圧接法を適用することによる鉄道業界全体におけるCO₂削減効果はわずかです。しかしながら、鉄道業界でもゼロエミッションの達成に向けて、できるところから取り組んでいきたいと考えています。

図4 炭酸ガス排出量の比較 (JIS 60kg普通レール)

ガス圧接 1 口当たりの炭酸ガス排出量



* 環境省発表の「燃料の使用に関する排出係数」を用いて算出

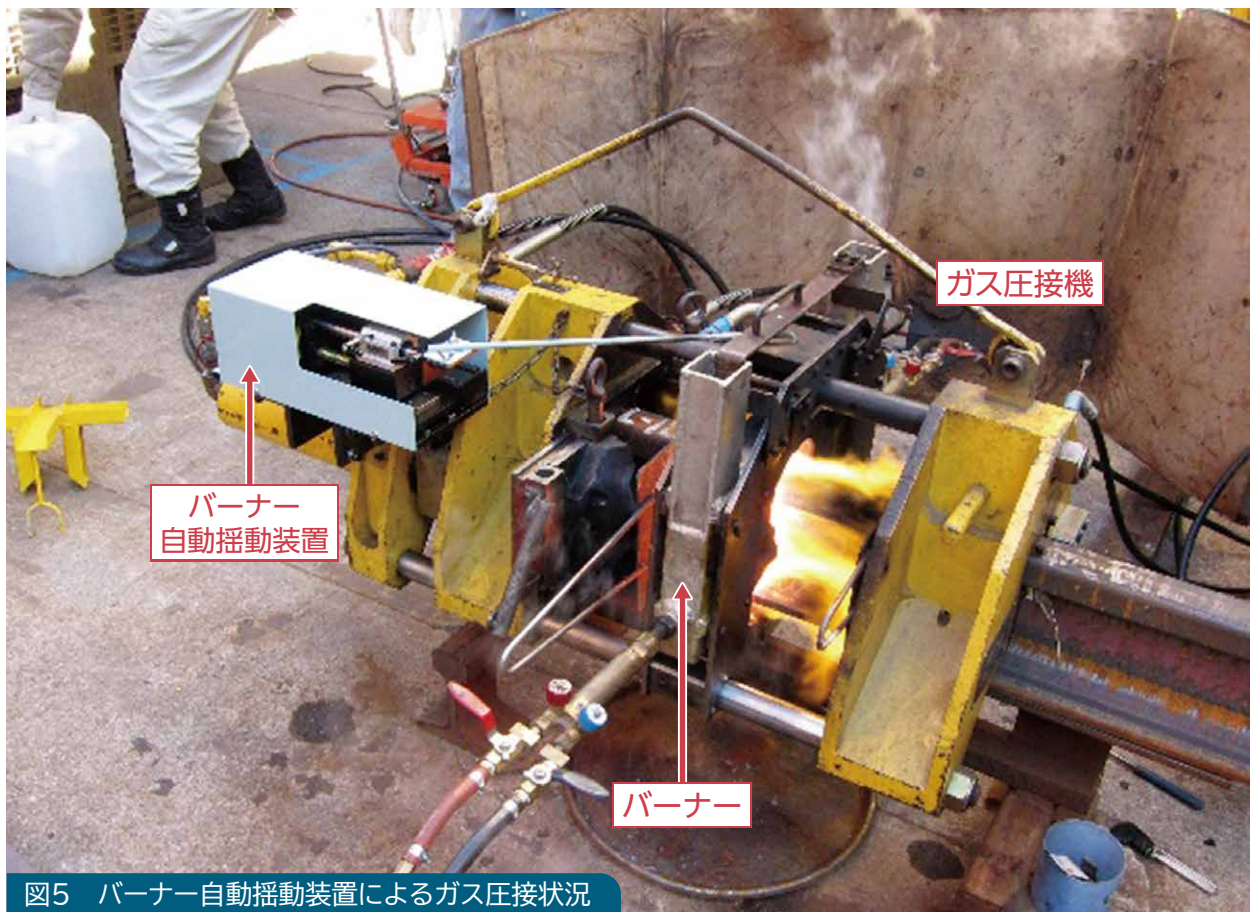


図5 バーナー自動揺動装置によるガス圧接状況

作業工程の自動化に向けた取り組み 熟練技能を要する工程の脱技能化

上述したように、現行レールガス圧接作業では、レール端面研削作業やバーナーによる加熱作業などにおいて、熟練技能が必要となります。一方、現在使用されているアセチレンガス燃焼炎は、火炎の安定性およびシールド性の両面において非常に優れた性質をもっています。したがって、アセチレンガスの代わりに水素ガスを適用する場合には、シールド性の低下が避けられず、現行の施工方法ではより高い施工精度が要求されます。そのため、施工品質を維持するうえで脱技能化の達成が不可欠となります。鉄道総研では、熟練技能を要する工程の脱技能化を目的とした自動化を進めるにあたり、切断作業を実施するのみで接合作業が可能なレール切断機や、熟練作業者のバーナー揺動操作を再現可能なバーナー自動揺動装置の開発に取り組んできました。開発成果の例として、バーナー自

動揺動装置によるレールガス圧接作業状況を図5に示します⁴⁾。なお、同装置を用いて作製したガス圧接継手を対象に各種性能評価試験を実施し、熟練作業者による継手と同等の性能を有していることを確認しています。

レールガス圧接シミュレーターの開発

現行のレールガス圧接作業工程をそのまま自動化する場合、各種センサーや制御装置などを多数追加する必要があるため、コストを要するのみならず重量が増加し、ガス圧接法の長所の一つである機動性が低下してしまいます。したがって、自動化に伴うコストや重量を相殺するためにガス圧接プロセスを大幅に省略するなど、ガス圧接条件の抜本的な見直しが必要であると考えました。

このような背景のもと、鉄道総研では多角的にガス圧接条件を検証可能なレールガス圧接シミュレーターを開発しました⁵⁾。図6にレールガス圧接シミュレーターにおける加熱変形解析

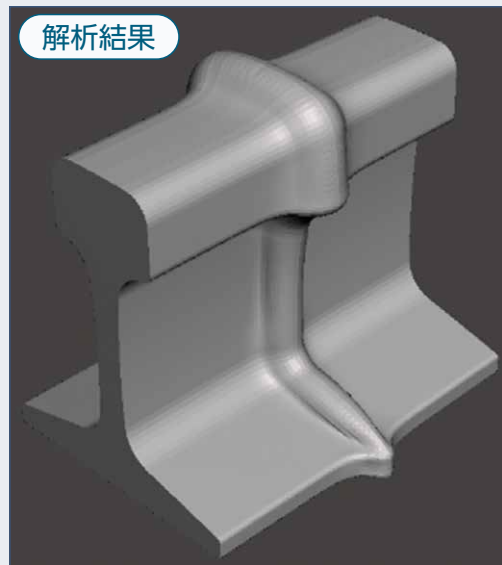
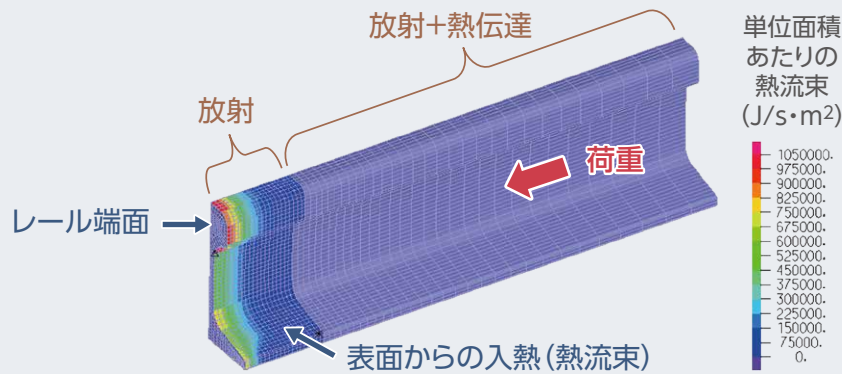


図6 レールガス圧接部の加熱変形解析モデル

モデルを示します。本解析モデルでは、レール表面にガス炎による熱流束分布、放射および大気熱伝達による境界条件を設けており、任意箇所のレール変形や温度分布を高精度で予測できます。現在、当該シミュレーターを用いてさまざまな加圧・加熱パターンを検討し、ガス圧接条件の抜本的な見直しに向けて検討しています。

おわりに

以上に述べたとおり、鉄道総研ではロングレール軌道を維持するうえで不可欠なレールガス圧接技術を将来に継承するため、脱炭素化やそれに伴うアセチレンガスの使用制限といった産業構造の変化に対応するための技術開発を進めます。なお、ゼロエミッションの達成に向け

て、今後より一層の脱炭素化が求められる中、鉄道総研では、水素ガスを主成分とする燃焼炎のシールド性を高めるための方策を検討するとともに、作業者によらず施工品質および施工精度を保てるよう、ガス圧接作業工程の完全自動化をめざしていきます。RRR

文献

- 1) 新版軌道材料編集委員会編：新版軌道材料，鉄道現業社，pp.106-108，2011
- 2) 山本隆一，深田康人，寺下善弘：低CO₂型ガス圧接法に関する基礎的検討，鉄道総研報告，Vol.15，No.10，pp.51-56，2001
- 3) 山本隆一，伊藤太初，寺下善弘，辰巳光正，吉田佳史：水素・エチレン混合ガスを用いたレールガス圧接法，鉄道総研報告，Vol.27，No.4，pp.47-52，2013
- 4) 山本隆一，辰巳光正，柿崎陽大：レールガス圧接施工プロセスの脱技能化，鉄道総研報告，Vol.30，No.10，pp.35-40，2016
- 5) 伊藤太初，山本隆一：レールガス圧接法の自動化に向けた取り組み，JREA，Vol.65，No.12，pp.23-26，2022