

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「環境対応の高熱効率鍛造加熱法の開発と実用化」

研究開発成果等報告書

平成24年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 社団法人日本鍛造協会

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	3
1-2 研究体制	5
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8

第2章 本論

2-1 調査研究 [関連技術調査及び技術動向調査]	9
2-2 評価試験装置コンセプトの検討	9
2-3 IRヒータの開発	10
2-4 高効率・小ロット対応H+IRハイブリッド加熱評価機の開発	10
2-5 高効率・大ロット対応H+IRハイブリッド加熱評価機の開発	12
2-6 素材(非鉄金属)部分加熱を目的とした遠赤外線(IR)部分加熱炉の開発	16
2-7 軽量型・金型予熱評価システムの開発	18
2-7-1 角形金型(浅部研状金型:クランクシャフト用)予熱器の開発	19
2-7-2 丸形金型(深部研状金型:ツバ付シャフト用)予熱器の開発	19
2-8 生産量変動対応可能なフレキシブル生産システムの構築	20

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果	20
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	20
3-3 事業化(実用化)の活動計画	22

付記:専門用語解説	22
-----------	----

付記:参考文献	22
---------	----

第1章 研究開発の概要

鍛造品は重要保安部品として自動車産業をはじめ、輸送機械や建設機械等、様々な分野の重要保安部品として使用されており、日本の鍛造業は常に世界にトップレベルの技術水準にある鍛造品を安定的に供給し、機械産業全般を支えている。

グローバル競争が加速する中、鍛造品のコスト低減、機能及び品質の向上は緊急課題であり、それらの解決手段の一助として、この度の技術開発では、鍛造加工の前工程である「材料加熱」と「鍛造金型の予熱」に着目し、“エネルギー効率”や“製品歩留まり”の改善によってコスト低減及び生産性の向上を追求するものである。

表-1: 委託期間内の研究開発取組

研究開発実施項目		開発テーマ (主目標評価)	目 標	総委託事業期間の研究取組
第2章 本論				
2-1	調 査 研 究:	調査研究 (最新の市場調査)	本技術開発に関連する国内外の技術動向調査、特許調査及び研究動向調査を実施して、その優位性・独創性を確認する。	*H21年度は、熱間鍛造向け「素材全体加熱機」及び「金型予熱器」の技術動向調査を行った。 *H22・H23年度は、H21年度の末調査案件について追加調査を行うと共に、最新技術調査を行った。
2-2	評価試験装置 コンセプトの検討:	評価試験装置 コンセプトの検討	*評価装置仕様書の作成 *高速定温化(品質向上)・エネルギー改善・加熱素材のムダ削減を目的に評価装置を検討する。	*「素材全体加熱機」及び「金型予熱器」の評価装置製作にあたり「加熱エネルギー向上」や「ムダ削減」目標にして検討を行い、装置製作仕様書のまとめを行った。
2-3	IRヒータ開発	IRヒータの開発 (1250℃の鍛造ラインに対応)	*高温使用温度: 1300℃以上。 *ヒータ耐久性: 1512cycles以上。 *赤外線放射率: $\varepsilon = 0.85$ 以上。 *高断熱特性: ヒータ裏面100℃以下及び炉外壁50℃以下。	*技術目標値達成を目指し、H21年度に技術調査後、評価試験機の製作を行い、下記「素材全体加熱機」「素材部分加熱機」に反映した。 *その後、IRヒータ耐久性評価試験に向けて、再度コンセプト検討後に、新型IRヒータを製作し、評価試験を継続している。
2-4	素材全体加熱 (加熱効率向上・均熱化)	小ロット対応IH+IRハイブリッド加熱機の開発 (少量多品種加熱機) 主目標評価: 加熱エネルギー効率の向上 (IH運転効率向上含)	*加熱エネルギー効率: 20%向上 *IH運転効率: 8.2%向上 *焼ざまし低減: 2%以下 *素材温度精度: $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以下	*H21・H22年度は、評価試験機の製作を行い「加熱エネルギー向上」を重点研究テーマとして、評価モデル機の選出を行い、 $\phi 65$ 単コイル($\phi 65 \sim \phi 44\text{mm}$ とレット対応)にて生産レットサイズ $\phi 60 \sim \phi 38\text{mm}$ について評価を行った。 *「焼ざまし低減」評価試験もH22年度に追加評価した。
2-5		大ロット対応IH+IRハイブリッド加熱機の開発 (多量少品種加熱機) 主要目標評価: 焼ざまし低減	*加熱エネルギー効率: 20%向上 *IH運転効率: 8.2%向上 *焼ざまし低減: 2%以下 *素材温度精度: $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以下	*H21・H22年度は、評価試験機の製作を行い「焼ざまし低減」を重点研究テーマとして、評価モデル機の選出を行い、 $\phi 83$ 単コイル($\phi 80 \sim \phi 75\text{mm}$ とレット対応)にて生産レットサイズ $\phi 80 \sim \phi 55\text{mm}$ について評価を行った。 *「加熱エネルギー向上」や「焼ざまし低減」の追加評価は、H23年度に行った。
2-6	素材(非鉄金属)部分加熱 (加熱効率向上・均熱化)	素材(非鉄金属)部分加熱炉 (加熱エネルギー効率向上と環境改善)	*加熱エネルギー効率: 20%向上 *素材温度精度: $\pm 30^{\circ}\text{C}$ 以下	*H21年度は、既設炉(重油炉)の現状調査(目標値)を行い、評価装置のコンセプト検討を行った。 *H22・H23年度は、各種素材(鋼材及び非鉄金属)の「加熱エネルギー効率」向上の調査を行い、IR加熱の優位性を確認した。
2-7-1	IR金型予熱 (短時間昇温・均熱化)	角形金型予熱器の開発 (浅部形状金型) (昇温時間・均熱改善)	*金型温度精度: $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 以下 *金型予熱時間: 30min以内	*H21年度は、既設予熱器(ガスバーナー予熱)の現状調査(目標値)を行い、評価装置のコンセプト検討を行った。 *H22・H23年度は、評価予熱器を製作し「金型予熱時間」や「金型温度精度」評価試験を行い、事業化の検討を行った。
2-7-2		丸形金型予熱器の開発 (深部形状金型) (昇温時間・均熱改善)		
2-8	生産量変動対応可能な生産システムの構築: (加熱効率向上・焼きざまし量削減)	段取り時間の短縮 生産システムの構築 焼ざまし低減システムの構築	段取り時間の短縮や焼きざまし低減生産システムの構築は、[3-2]小ロットライン対応及び[3-3]大ロットライン対応加熱機にて実験確認後システムの構築を行う	*[3-2]小ロットライン対応及び[3-3]大ロットライン対応加熱機にて評価確認後(特にH23年度)にシステムの構築を行った。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

自動車部品の鍛造加工においては、生産性の高い高速加熱が可能な誘導加熱炉[熱効率 50～55%]が最も多く使用されている。誘導加熱炉は大量生産・高速加工に有効であるが、加熱温度の均一制御や周波数変換効率に限界があり、加熱効率の向上に課題がある。また、直接通電する抵抗加熱の加熱効率[70～80%]は高いが、加熱温度均一性や外径面性状の悪い鍛造用切断材料には適用が難しい課題がある。

本研究開発は、加熱効率の高い、高放射率・遠赤外線(IR)加熱[熱効率 60%～70%]を有効に鍛造加熱に活用する加熱技術の開発、新しい誘導加熱と遠赤外線加熱の複合炉の開発、そして鍛造加熱システムの開発を行う。これは、鍛造加熱はもとより、あらゆる加熱炉として初めての複合炉(ハイブリッド加熱炉)である。

開発する複合炉は、遠赤外線加熱の加熱効率向上に加えて、鍛造材料(鉄鋼)のキュリー点(770℃)以上の誘導加熱効率低下(約 50%)を改善できる。また、遠赤外線加熱は熱源温度を容易に制御可能なため、温度の均一性の向上や鍛造プレスの一時的停止時における加熱材料の廃棄及びムダの削減にも効果が期待できる。

本開発は鍛造業界のコスト低減や生産性の向上が目的であるので、研究開発成果は鍛造業界各社へ水平展開の可能性を検証する。

研究開発の目的(川下製造メーカーの抱える課題及びニーズ)

- (1) 鍛造製品のコスト削減(ムダの削除)
- (2) 鍛造製品の量産品質向上
- (3) 品質を具備しながら生産量変動に迅速かつフレキシブルに対応できる供給システム

研究開発の目標(川上装置メーカーの研究開発目標)

- (1) 素材及び金型温度の均熱化・保温化によるエネルギーコスト削減・製品の歩留まり改善
- (2) 素材及び金型温度の高速定温化に基づく、鍛造製品の品質向上
- (3) 生産量変動対応高効率加熱システムの構築(多源エネルギー加熱システム)

この研究開発は、鍛造加工の前工程である「素材の加熱」と「金型の予熱」に着目し「エネルギー効率」や「製品歩留まり」の改善によって【コスト低減】及び【生産性の向上】を追求するものである。

具体的には次の通り：

表-2：具体的な研究評価装置

項目	従来技術	新技術
①素材全体加熱	誘導(田)加熱法	誘導加熱 ^{*用語1)} ＋遠赤外線(IR)加熱 ^{*用語2)} 複合法 (1)小ロット対応ハイブリッド加熱機 (2)大ロット対応ハイブリッド加熱機
②素材部分加熱	燃焼(重油)加熱法	遠赤外線(IR)加熱法 (3)素材(非鉄金属)部分加熱炉
③金型予熱	燃焼(ガス)加熱法 ハロゲンランプ加熱法	遠赤外線(IR)加熱法 (4)金型(角形・丸形)予熱器

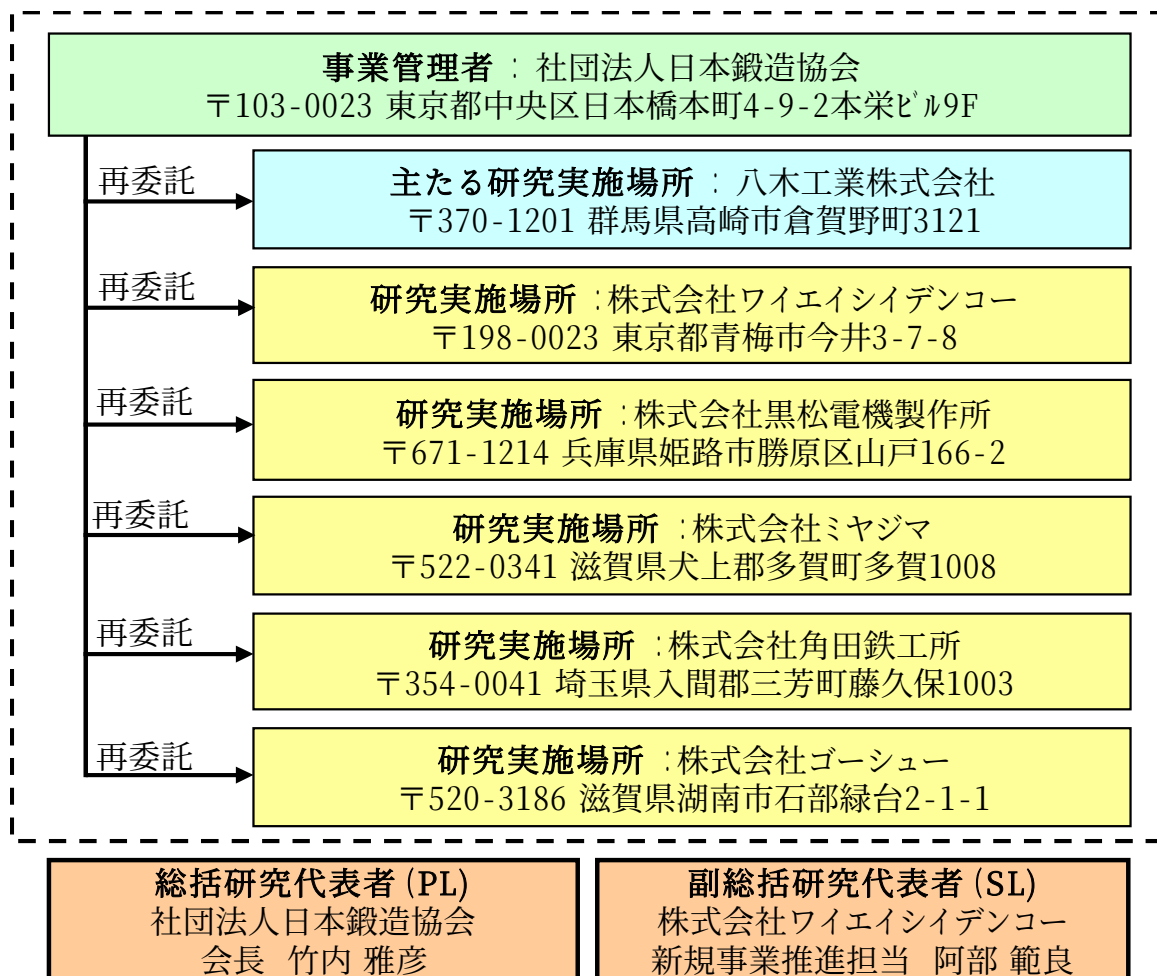
研究目的及び目標に対する実施結果：

表-3：目的・目標に対する評価結果

研究開発の目的及び[目標]	実施結果
1). コスト削減(ムダの削除) [温度の均熱化・エネルギーコスト削減]	*小ロット対応ハイブリッド加熱機[評価確認試験で達成]、大ロット対応ハイブリッド加熱機[シミュレーション技術で算出し達成可能と判断]及び素材部分加熱炉[評価確認試験で達成]にて「加熱エネルギー効率向上」や「焼きざまし ^{*用語3)} 量削減」を評価し、目標値を達成できた。
2). 量産品質向上 [鍛造製品の品質向上]	*川下製造メーカーからの製品要求に機能・品質向上評価確認(鍛造製品試験)として「素材酸化度合」「脱炭」「結晶粒度」があり、発注仕様内の確認が得られた。
3). 生産量変動対応・フレキシブル供給システム[生産量変動対応高効率加熱システムの構築]	*小ロット対応ハイブリッド及び大ロット対応ハイブリッド加熱機にて「フレキシブル供給システム」となる単コイルで、指定ピレットサイズ範囲を超えて「加熱エネルギー効率向上」など種々の目標値を達成可能か評価し、達成できた。

1-2 研究体制

[研究組織・管理体制]



注釈：新) 株式会社ワイエイシイデンコー
旧) 株式会社デンコー

[研究員氏名]

社団法人日本鍛造協会	竹内 雅彦	研究員 (会長)
	志村 栄治	研究員
八木工業株式会社	伊藤 健一郎	生産技術部 生産技術課 課長
	大井 一彦	生産技術部 生産技術課 係長
	上原 雅史	生産技術部 生産技術課
	斉藤 宏之	生産技術部 生産技術課
株式会社ワイエイシイデンコー	阿部 範良	新規事業推進担当 統轄付
	坂下 博之	生産技術部 研究開発課 課長
	高宮 大介	生産技術部 研究開発課 エキスパート
	関田 祥弘	生産技術部 研究開発課
株式会社黒松電機製作所	黒松 節夫	代表取締役社長
	丹 成弘	製造部 技術部長
	中塚 伸吾	製造部 製造部長
株式会社ミヤジマ	宮嶋 誠一郎	代表取締役社長
	綿谷 悠吾	管理部 技術課 課長
	大野 重之	管理部 品質保証課 課長
株式会社角田鉄工所	大川 公明	製造部 部長
	福田 栄治	製造部 彫型課 課長

株式会社ゴース

護法 良憲

技術部 部長

田崎 賢児

技術グループ スタッフリーダー

森 貴之

技術グループ スタッフリーダー

田中 亮

技術グループ スタッフ

結城 和久

技術グループ スタッフ

[協力者]

名古屋工業大学大学院

北村 憲彦

つくり領域 准教授

株式会社ウチノ

内野 恵司

代表取締役

株式会社栗本鐵工所

岡田 博文

取締役 機械システム事業本部長

新日本製鐵株式会社

戸田 正弘

技術開発本部 棒鋼・線材研究所 主幹研究員

住友重機械テクノフォート株式会社

久山 裕也

営業部 プレス担当部長

株式会社タイチク

松田 勇

取締役 副本部長

学校法人日本大学

関口 常久

講師

トヨタ自動車株式会社

森下 弘一

鍛圧・表改生技部 技術企画室 主査

日本精工株式会社

山村 賢二

総合研究開発センター 基盤技術研究所

三井造船株式会社

川中 啓二

材料熱処理技術室 部長

機械・システム事業本部

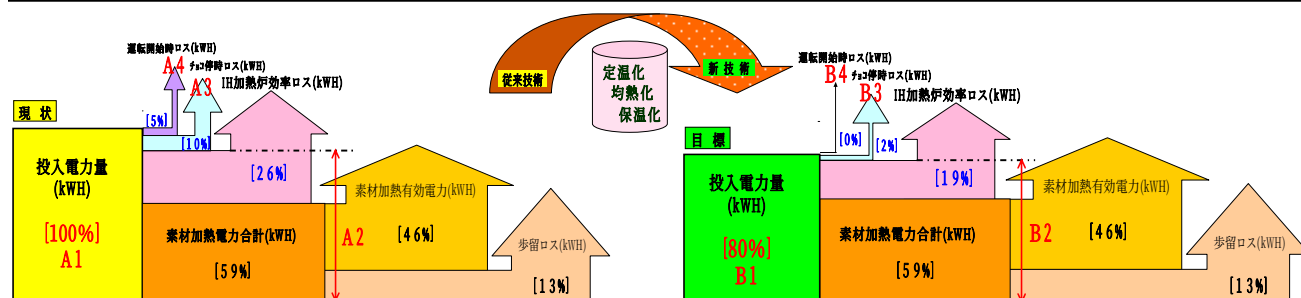
機械工場パワーエレクトロニクス設計部 部長

1-3 成果概要

1). 技術的数値目標値

1-1). エネルギー効率目標値 (成果見込)

項目	現状	目標
鍛造加熱エネルギー効率	50～55% (IH鍛造加熱炉)	20%効率アップ' $= (A1 - B1) / A1$ CO ₂ 排出削減値[京都議定書ベース]
a)鍛造ラインの一時停止(チョコ停)時と操業開始時のムダ削減	15% (IH鍛造加熱炉)	a-1)IH運転効率: 8.2%向上 $= (A2 - B2) / A2$ a-2)焼ざましムダ'合計: 排出2.0%以下 $= (B3 + B4)$ ・チョコ停*用語4)時ロス(A3⇒B3) ・操業開始時ロス(A4⇒B4)



1-2). その他技術課題の目標値 (成果見込)

項目	現状	目標
b)鍛造ラインの加熱温度均熱化 b-1)素材加熱(全体加熱)	b-1)素材加熱均熱温度精度 IH加熱炉出口にて: $> \pm 30^{\circ}\text{C}$	b-1)素材加熱均熱温度精度 IR加熱炉出口にて: $< +20^{\circ}\text{C}, -0^{\circ}\text{C}$ (目標 $< +10^{\circ}\text{C}, -0^{\circ}\text{C}$)
b-2)金型予熱(丸形金型と角形金型)	b-2)金型予熱温度精度 金型表面温度にて: $> \pm 150^{\circ}\text{C}$ 金型予熱時間: 30min～60min	b-2)金型予熱温度精度 金型表面温度にて: $< \pm 50^{\circ}\text{C}$ 金型予熱時間: 現状の1/2時間短縮

図-1: 技術的数値目標値 (成果見込み)

2). 研究開発の成果 (数値目標達成成果)

表-4: 研究開発の成果 (技術的数値目標と結果)

鍛造加熱によるCO₂排出削減値 [36,200Ton-CO₂/Year] at 生産量250万Ton/Year

鍛造加熱エネルギー効率の向上				現状	目標値	実験結果	まとめ	
素材加熱効率	全体加熱	小ロットライン対応 (少量多品種加熱機) 主目標評価: 加熱エネルギー効率 a-1.IH運転効率	加熱エネルギー 効率の向上	φ50:47.3% φ38:28.9%	20%向上	φ50:20.0%向上 φ38:40.7%向上	*主目標評価項目で ある「加熱エネルギー 効率向上」及び「IH 運転効率向上」は、 全て技術数値目標 を達成。 *φ65コイル(φ65～ φ44ピレット対応)で 制限範囲外のピレ ットサイズにて単コ イルで対応可能かを 確認し達成した。	
			内 訳	a-1.IH運転効率	φ50:50.0% φ38:29.8%	8.2%向上		φ50:18.6%向上 φ38:42.2%向上
				a-2.焼ざまし低減	φ65～φ44 の平均値: 5.2%	2.0%以下		φ50:1.27%以下 φ38:0.7%以下
	大ロットライン対応 (多量少品種加熱機) 主目標評価: a-2.焼ざまし低減	内 訳	加熱エネルギー 効率の向上	φ83:53.2% φ75:53.1%	20%向上	φ83:16.7%向上 φ75:10.0%向上 [φ75:シミュレーション での推定数値: 20%以上向上]	*主目標評価項目で ある「焼ざまし低減」 は、シミュレーション技術 による算出で、達成 出来ると判断。 *「加熱エネルギー効率 やIH運転効率」も シミュレーション技術に よる算出で、達成出来 ると判断。 *φ83コイル(φ83～ φ75ピレット対応)で 制限範囲外のピレ ットサイズにて単コ イルで対応可能かを 確認し達成した。	
			a-1.IH運転効率	φ83:62.5% φ75:61.8%	8.2%向上	φ83:10.0%向上 φ75:9.5%向上 [φ75:シミュレーション での推定数値: 17%以上向上]		
素材(非鉄金属)部分加熱 主目標評価: 加熱エネルギー効率		加熱エネルギー 効率の向上	100%(重油)	20%向上	φ32:69.6%向上	*IR加熱は重油加熱 に比べ高エネルギー 効率であることが 証明された。		
			(重油消費量:36L/Hr)					
温度均熱化	全体加熱	小ロットライン対応 (少量多品種加熱機)	目的:温度の均熱化	>±30℃	±10℃以下	φ50:±3℃	*IR加熱の特徴で ある温度均熱化 が実証できた。	
		大ロットライン対応 (多量少品種加熱機)	目的:温度の均熱化	>±30℃	±10℃以下	φ75:±3℃		
	素材(非鉄金属)部分加熱 (鋼, SUS系,黄銅)		目的:温度の均熱化	±54℃	±30℃以下	φ32:±28.5℃ 以下	*IR加熱の特徴で ある温度均熱化 が実証できた。	
	金型予熱	角形金型予熱 (浅部形状金型)	目的:温度の均熱化	±53.8℃	±50℃以下	±43.3℃	*主目標評価の「温 度均熱度」や「昇 温時間」を実用化 レベルで達成。 *実用化(今後の主 要テーマは軽量化) を推進する。	
			目的:昇温時間の短縮	60min	30min以内	27.7min		
		丸形金型予熱 (深部形状金型)	目的:温度の均熱化	±75.5℃	±50℃以下	±50.9℃	*主目標評価の「温 度均熱度」や「昇 温時間」をほぼ実 用化レベルで達成。 *実用化(今後の主 要テーマは使い勝 手改良)を推進す る。	
			目的:昇温時間の短縮	45min	15～30min	38.3min		

3) . 研究開発の成果 (達成成果の説明)

表-5: 研究達成成果の説明

第2章 本論	研究開発実施項目		開発テーマ (主目標評価)	複数年の研究開発成果
2-1	調査研究:	調査研究 (最新の市場調査)		1).IH加熱機の最新の技術は、 ①多電源化、②多周波数化、③急速加熱、④加熱コイルの熱効率向上、 ⑤スキッドレールの無水冷化などが開発されている。 2).部分加熱炉の新開発情報は、なし。 3).金型予熱器は、既存の遠赤外線(IR)を使用したものはない。 ①電気ヒータ予熱器、②ハロゲンヒータ予熱器など販売されている。
2-2	評価試験装置 コンセプトの検討:	評価試験装置 コンセプトの検討		H21年度にコンセプト検討し評価機に反映した。 1).小ロット対応ハイブリッド加熱機は加熱エネルギー効率向上を目標とし、 大ロット対応ハイブリッド加熱機は焼きざまし低減を目標とした。 H22年度にコンセプト検討し評価機に反映した。 2).素材部分加熱炉は、加熱温度管理を自動化し品質の安定化を図った。 3).金型予熱器は、浅部形状金型(クランクシャフト用)と深部形状金型(ツバ付シャフト用)を代表モデルとして開発し「短時間昇温と均熱化」を図った。
2-3	IRヒータ開発	IRヒータの開発 (1250℃の鍛造ラインに対応)		1).常用使用温度1,300℃を確認、達成した。 2).ヒータ耐久性評価は継続中:未完了(1008cycles/84days) [(株)ワイエイシイデンソー社内で評価試験継続中] 3).赤外線放射率: $\varepsilon = 0.864$ (達成) 4).高断熱特性:ヒータ裏面温度及び炉外壁温度は未達成であり、 今後メーカー独自にて研究開発を継続する。
2-4	素材全体加熱 (加熱効率向上・均熱化)	小ロット対応IH+IR ハイブリッド加熱機 の開発 (少量多品種加熱機) 主目標評価:加熱 エネルギー効率の向上 及びIH運転効率向上		[φ65コイル(φ65~φ44mmピレット)にて評価確認] 1).加熱エネルギー効率:φ50・φ38ピレットにて20%以上の向上確認、達成した。 2).IH運転効率:φ50・φ38ピレットにて8.2%以上の向上確認、達成した。 3).焼きざまし低減:φ50・φ38ピレットにて2.0%以下を確認、達成した。 4).素材温度制度:φ50ピレットにて±3℃を確認、達成した。 5).機能・品質向上評価で「素材酸化度合」「脱炭」「結晶粒度」の仕様内を確認 した (達成)
2-5		大ロット対応IH+IR ハイブリッド加熱機 の開発 (多量少品種加熱機) 主要目標評価: 焼きざまし低減		[φ83コイル(φ83~φ75mmピレット)にて評価確認] 下記数値は、IH装置の全体改良を想定したシミュレーション技術により確認。 1).加熱エネルギー効率:φ83・φ75ピレットにて20.0%以上の向上確認、達成した。 2).IH運転効率:φ83・φ75ピレットにて8.2%以上の向上確認、達成した。 3).焼きざまし低減:φ83ピレットにて2.0%以下を確認、達成した。 4).素材温度制度:φ75ピレットにて±3℃を確認、達成した。
2-6	素材(非鉄金属)部分加熱 (加熱効率向上・均熱化)	素材(非鉄金属) 部分加熱炉 (加熱エネルギー効率 向上と環境改善)		1).加熱エネルギー効率:69.6%向上を確認、達成した。 2).評価素材(表-9参照) 温度精度(最大値):±28.5℃以下を確認、達成した。
2-7-1	IR金型予熱 (短時間昇温・均熱化)	角形金型予熱器 の開発 (浅部形状金型) (昇温時間・均熱改善)		[実用化に近づけた角形金型予熱器評価] 1).金型温度精度:±43.3℃ (達成) 2).金型予熱時間:27.7min (達成)
2-7-2		丸形金型予熱器 の開発 (深部形状金型) (昇温時間・均熱改善)		[実用化に近づけた丸形金型予熱器評価] 1).金型温度精度:±50.9℃ (未達成) 2).金型予熱時間:38.3min (未達成) 備考:昇温性能上未達であるが、使用上問題なしと判断した。
2-8	生産量変動 対応可能な 生産システムの 構築: (加熱効率向上・ 焼きざまし量 削減)	段取り時間の短縮 生産システムの構築		*小ロット対応ハイブリッド加熱機でφ65コイルで評価(加熱効率・他)し、単コイルで 操業可能と判断した。 *大ロット対応ハイブリッド加熱機でφ83コイルで評価(加熱効率・他)し、単コイルでの 操業可能判断にはシミュレーション技術が必要とし、シミュレーションによる算出数値 より操業可能と判断できた。
		焼きざまし低減 システムの構築		*大ロット対応ハイブリッド加熱機にて「焼きざまし量削減」を目指し シミュレーション技術による算出数値より、達成可能と判断できた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

社団法人 日本鍛造協会 (常務理事 村島 善樹)

連絡先 TEL:03-5643-5321

FAX:03-3664-6470

E-mail: project@jfa-tanzo.jp

第2章 本 論

2-1 調査研究 [関連技術調査及び技術動向調査]

本技術開発に関連する国内外の技術動向調査、特許調査及び研究動向調査をサポイン関係者の協力を得て実施した。

①IH 加熱機の加熱方法

- ＊生産性向上では高速加熱化、省エネでは多電源化・多周波数化（加熱コイル毎に出力・周波数を変更できる）の加熱機あり。
- ＊加熱コイルの使用範囲拡大では減処理運転を 20%迄可能にし「焼ごまし低減化」・「段替え不要化」の傾向となってきた。
- ＊加熱開始時の炉温安定化や初期運転モードにて「焼ごまし排出量」を1個まで削減している（大ロット専用の生産用）。

②IH 加熱機の加熱コイル

- ＊加熱コイルの熱効率向上（コイルギャップ削減・コイル形状の工夫・断熱絶縁方法の工夫）が行われてきた。
- ＊スキッドレール（無水冷化）の採用は、加熱ゾーン及び均熱ゾーンで拡大して来ている。

③IH 加熱機の均熱化

- ＊加熱温度分布の均熱化は、画期的な報告が無く「±20～±30℃程度」が現状の限界である。
- ＊汎用ライン機では、本開発の±10℃以内のものは存在しない。^{*文献①}

④遠赤外線 (IR) ヒータ

- ＊家電、液晶などにおいて 700℃迄のものが、製造・販売されている。
- ＊最高使用温度は、当開発メンバーの(株)ワイセイデンソーが 1,150℃の IR ヒータを製造・販売しているが、本開発の鍛造素材加熱用ヒータとして「金属エレメント製(耐振動対応)」で「常用使用温度 1,300℃に耐えられるヒータ」は無い。

⑤金型予熱器

- ＊市販のガスバーナーで予熱を行う鍛造メーカー部分成型部分を型形状に合わせ、カバーをつけるなど改良が多い。
- ＊温度制御が難しく金型の各部位を均熱化出来ない。また、昇温に時間がかかるなどの欠点がある。
- ＊シーズヒーター、ハロゲンヒーターなどを用いて温度管理を実施している予熱器があるが、種々の欠点(昇温が遅い、均熱性が悪い)がある。

2-2 評価試験装置コンセプトの検討

加工ライン効率改善システムの構築 [高効率ハイブリッド加熱システムのコンセプト検討・素材部分加熱炉のコンセプト検討・軽量型金型予熱器のコンセプト検討後の概略仕様の作成]を行った。

表-6：各研究項目の評価試験機的主要コンセプト検討

ハイブリッド評価試験機 の主要コンセプトを下記で検討した。

- ①既存の設備の低投資での改良を目的に、エネルギー効率向上及び歩留まり率向上を可能とするため、現有設備（既存）のIH加熱コイル長さの範囲内に「IH加熱コイル+IR加熱部」を組込む仕様。
- ②ハイブリッド評価機のIH加熱部は、加熱炉長を短縮し、ヒートパターンは急速加熱で省エネを図る。また、IH加熱コイルは採用可能な省エネ技術を盛り込む。
[銅コイル設計、無水スキッドレールなど]
- ③ハイブリッド評価機のIR加熱部は、IH加熱炉長短縮内寸法で検討し、1300℃対応・高断熱構造を採用し、均熱特性向上・保温特性向上に対応する仕様で製作する。

アプセット鍛造用素材部分加熱炉 の主要コンセプトを下記で検討した。

- ①既存の設備の低投資での改良を目的に、エネルギー効率向上、均熱化による品質向上及び作業環境改善を目的に、現有設備（既存）の重油加熱炉をIR加熱炉に置き換える仕様。
- ②IR加熱評価炉では、様々な材質（鋼材や非鉄金属）に対応可能で、汎用性が高く、温度均一性に優れた装置の製作。

軽量型・金型予熱器 の主要コンセプトを下記で検討した。

- ①IR金型予熱器では、製品一個目から良品とすることを目的に、操業開始前に金型を目標温度に到達させると共に、金型温度精度も向上する仕様（昇温速度の改善・均熱温度精度の改善）。
- ②IR金型予熱器では、トラブル時のチョコ停止時や昼休み等の操業一次停止時の金型温度低下を保温可能とすることで、操業再開時に即鍛造が開始出来るコンセプトも併せて検討。
- ③IR金型予熱器では、作業環境（騒音や熱放散対策）改善や地球環境（CO2排出量削減）改善。

2-3 IRヒータの開発

鍛造加熱システムに使用可能な高温対応・高効率遠赤外線 (IR) ヒータの実用化を目的として、下記、表-7の仕様目標値を設定し研究開発を行い、一部目標を達成した項目以外は継続評価研究中である。

① 新型IRヒータ開発結果

表-7: 遠赤外線 (IR) ヒータの評価結果

試験確認項目	仕様(ターゲット)値	評価結果
1) 最高使用温度の確認	Max.1,350°C、常用1,300°C	構造上異常がないことを確認した。 (H21年度達成済み)
2) 赤外線放射率の確認	>0.85以上(at 250°C)	分光放射計測定を公的機関で測定し、 放射率 $\varepsilon = 0.864$ を達成した。
3) ヒータ耐久性の確認 (過負荷試験にて確認)	>1,512cycles 12cycles/day [2Hr/cycle]	1008cycles/84days確認(at 1,300°C) ランニング試験: 継続中
4) 高断熱性の確認	ヒータ裏面100°C、炉外壁50°C以下	新規高断熱材でのヒータ裏面・炉外壁温度 計測し、炉外壁温度50°C以下を達成した。

② 赤外線放射率 [ε] の確認の測定結果

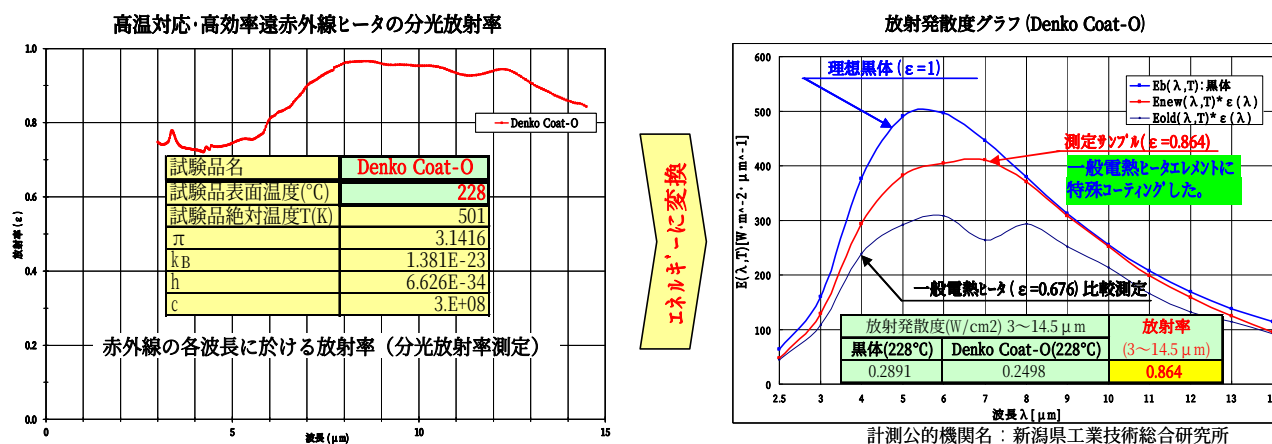


図-2: IRヒータの分光放射率と放射発散度グラフ

2-4 高効率・小ロット対応IH+IRハイブリッド加熱評価機の開発

小ロット対応ハイブリッドモデル機 (少量多品種対応) の実用化を目的として、主目標評価項目である「加熱エネルギー効率向上及びIH運転効率向上 (太径及び細径にて確認)」の確認を行い、目標を達成した。

① IH加熱炉からIH+IRハイブリッド加熱機への転換

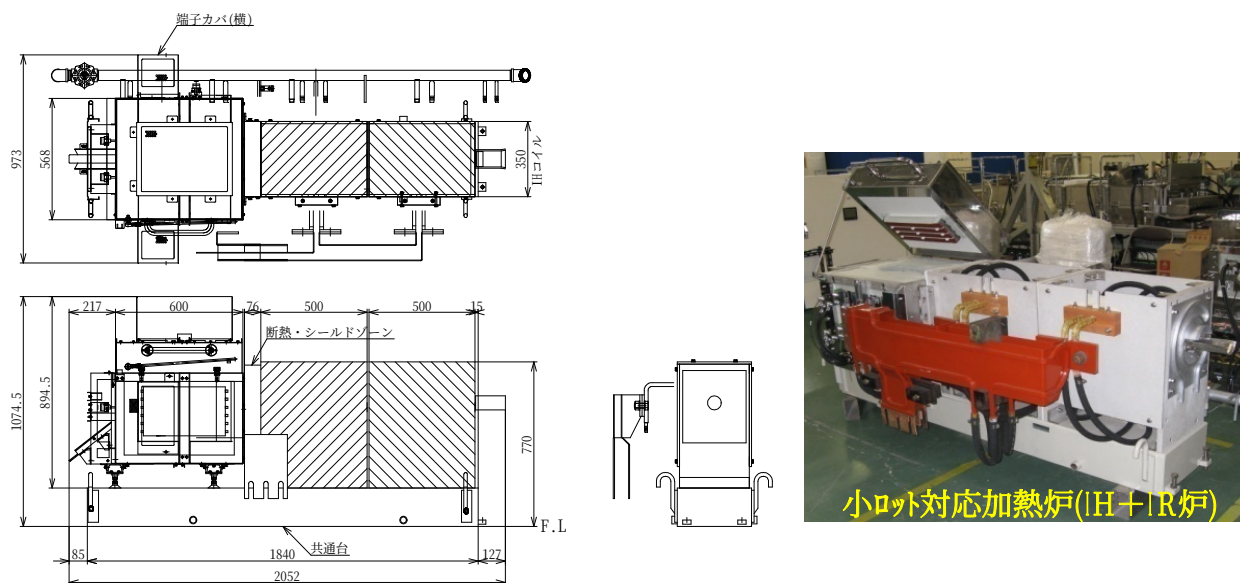


図-3: IH+IR小ロット対応ハイブリッド評価試験機の概略図及び装置写真

②新技術(IH+IRハイブリッド加熱機)のシミュレーションによるヒートパターン図

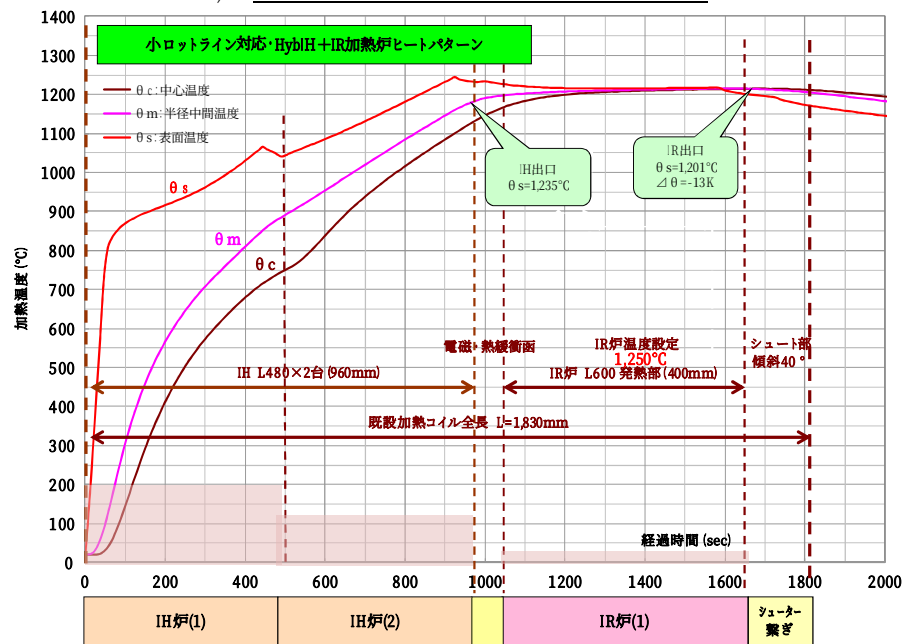


図-4：IH+IR ハイブリッド加熱機のシミュレーションヒートパターン図

③鍛造製品性能評価試験結果

表-8：「素材酸化度合・脱炭・結晶粒度」評価試験まとめ表

酸化スケール発生量測定 (S55C, φ50)	ビレット重量	保持温度	保温時間	スケール比率	品質確認結果
既存IH炉	1,250 g/pc	1,220 °C	0 min	0.40%	脱炭確認及び結晶粒度確認において、客先発注仕様内を確認した。
IH+IR ハイブリッド炉	1,265 g/pc	1,220 °C	0 min	0.24%	
	1,264 g/pc	1,220 °C	5 min	0.71%	
	1,263 g/pc	1,220 °C	10 min	1.11%	

ハイブリッド加熱炉内に於いて「素材酸化抑制技術の調査」を行う目的にて、ライン停止（チョコ停等）による炉内保温時の酸化スケール量の測定を行った。
本研究は、小ロット対応ハイブリッド加熱炉にて行い、上記のスケール発生結果に基づき判断したところ、外乱の影響（外部からの酸素の吸入）が少なく、製品の製作仕様上での問題はない。

④「加熱エネルギー効率」評価試験まとめ図 [φ65 単体加熱コイル使用時の材料径別運転効率評価結果]

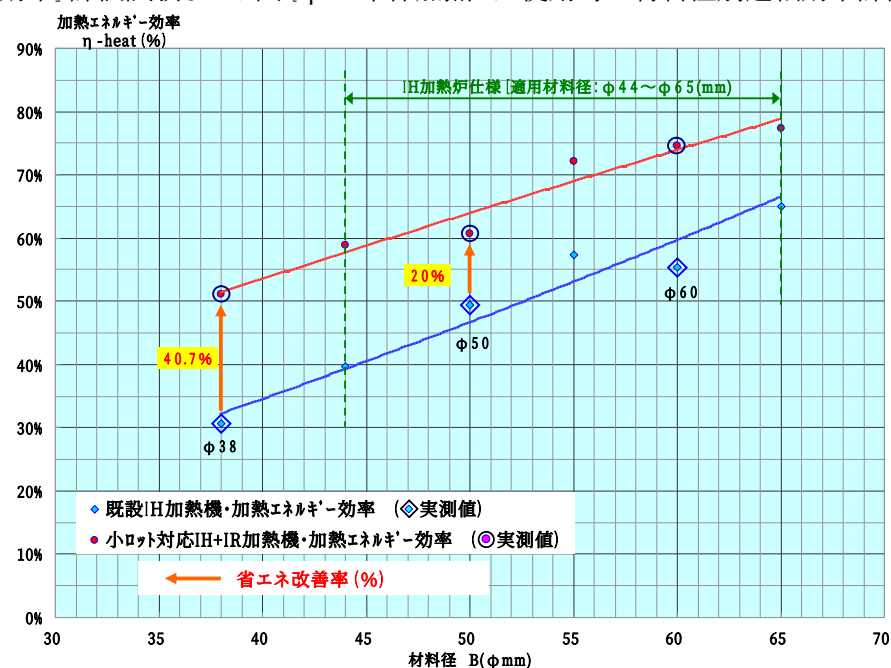


図-5：「加熱エネルギー効率」向上の評価結果まとめ図

⑤既設H加熱機及び新型ハイブリッド加熱機でのビレット温度測定まとめ図

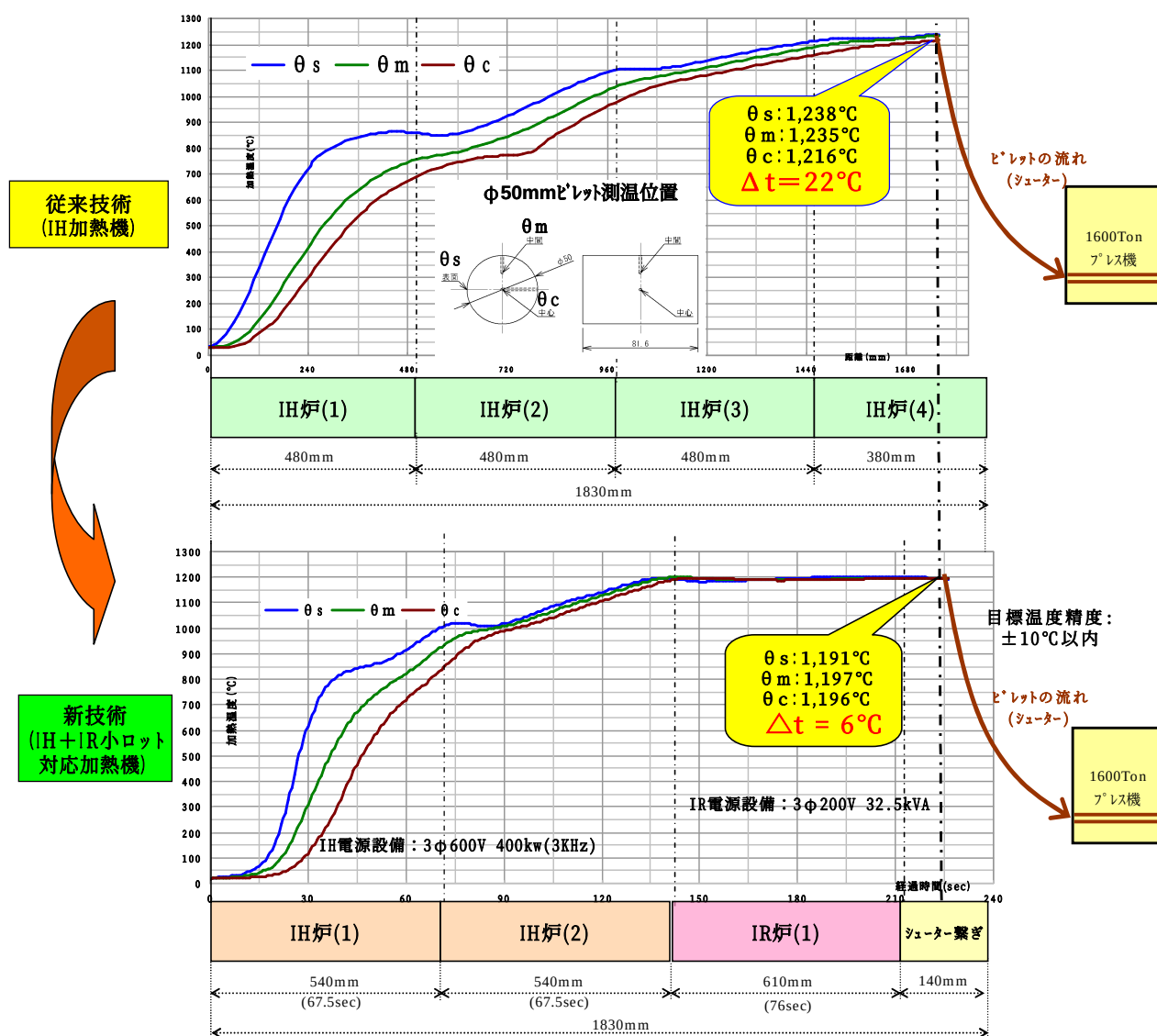


図-6: 評価搬送速度:100%標準運転 (8.4mm/sec)、φ65 コイルにてφ50mmビレット処理

2-5 高効率・大ロット対応IH+IRハイブリッド加熱評価機の開発

大ロット対応ハイブリッドモデル機(多量少品種対応)の実用化を目的として、主目標評価項目である「焼ざまし低減(各種微速保温運転にて確認)」の確認を行い、目標を達成した。また、追加項目として、太径・細径における「加熱エネルギー効率向上・田運転効率向上」の評価確認も行い目標を達成した。

①IH加熱炉からIH+IRハイブリッド加熱機への転換

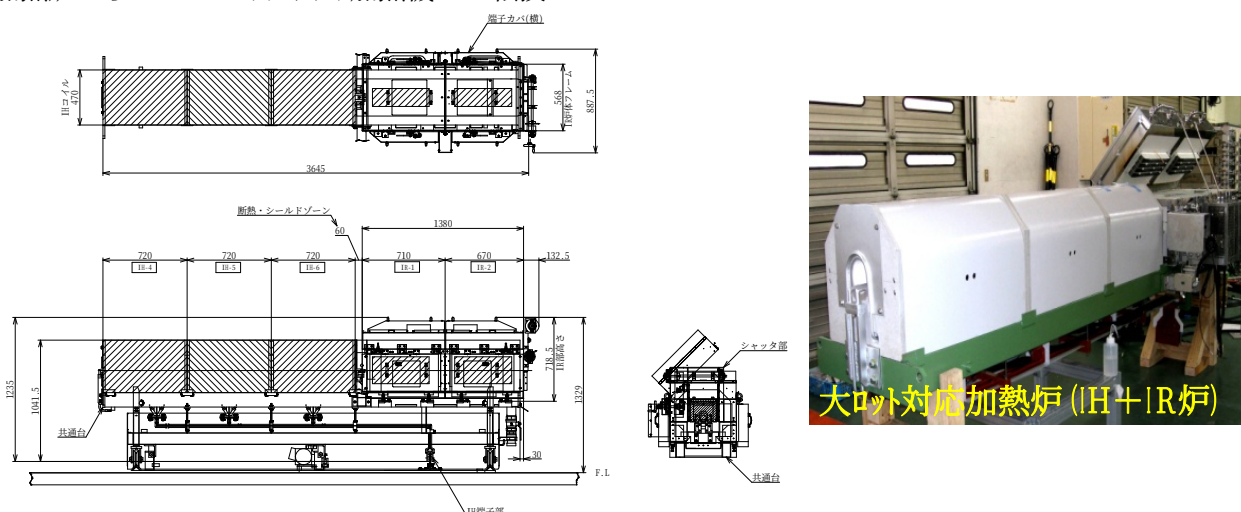


図-7: H+R大ロット対応ハイブリッド評価試験機の概略図及び装置写真

②新技術(IH+IRハイブリッド加熱機)のシミュレーションによるヒートパターン図

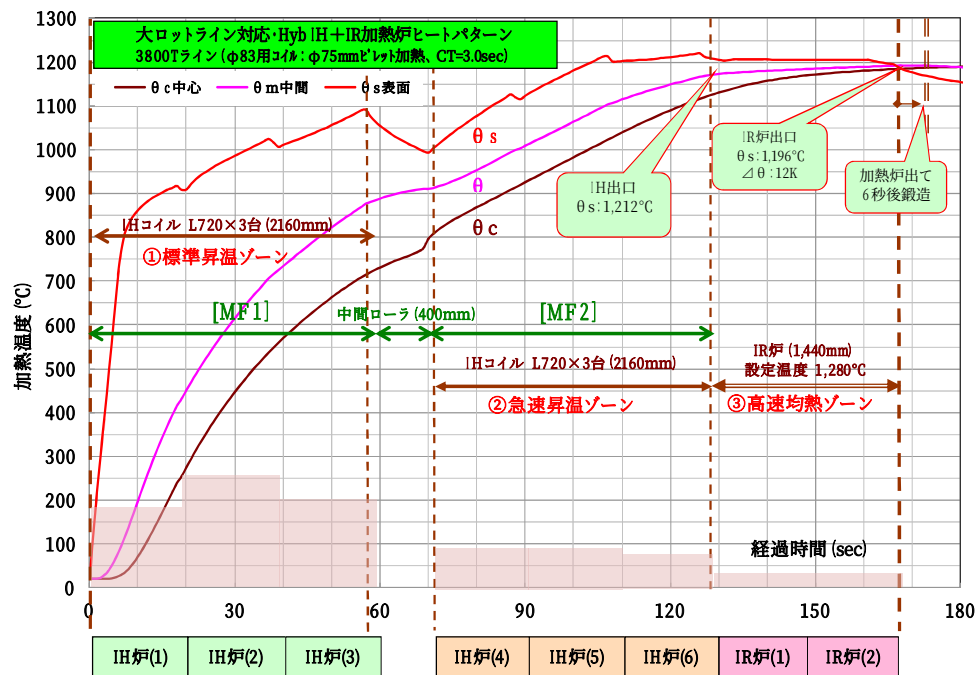


図-8:既設及び新設大ロット対応加熱機のヒートパターン図

③「加熱エネルギー効率」評価試験まとめ図

[φ83mm 単体加熱コイル使用時の材料径別運転効率評価及びシミュレーション技術採用]

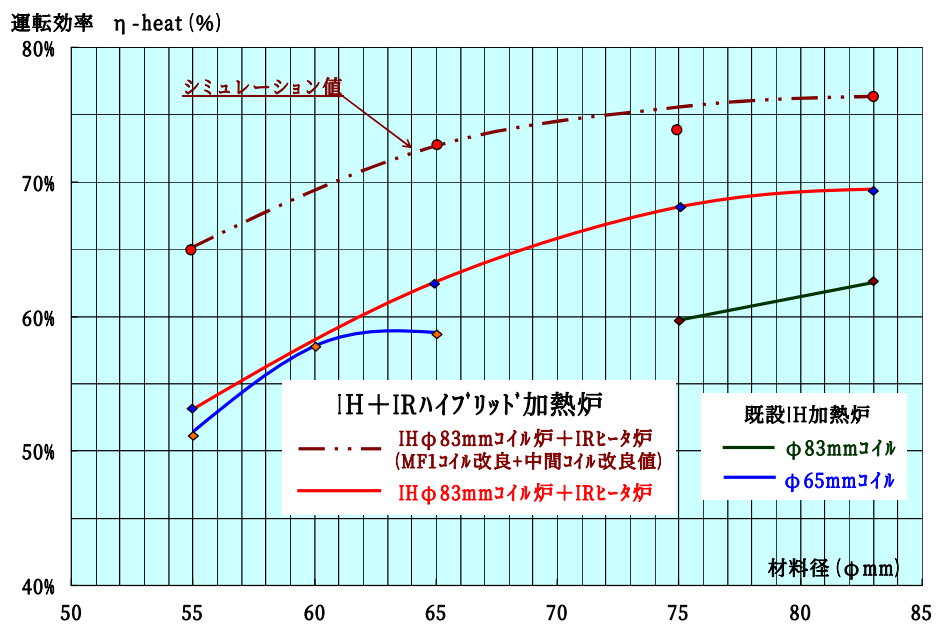


図-9:加熱エネルギー効率評価試験結果 (— · — 線はシミュレーション値) 図

④「焼ごましムダ削減」効果を確認するため、φ75mm ビレットでの評価実験結果

[φ83 コイルにてφ75mm ビレットでの 50%, 40%, 33%, 20% 微速保温運転 (特にチョコ停止時間の大半を占める、3 分間及び 5 分間の微速保温運転での確認試験)から 100%通常運転復帰時の焼ごまし排出量の評価試験結果]

【備考】現状のIH加熱炉試験に於いて、50%-4分間の微速保温運転から、100%通常運転への復帰時、**焼ごまし排出量を36個**と確認したことで、**総合焼ごまし排出量は、 $36+34(50\%-4分間の焼ごまし排出数) = 70個$** となり、**操業迄の待ち時間は、約6分8秒**となる。

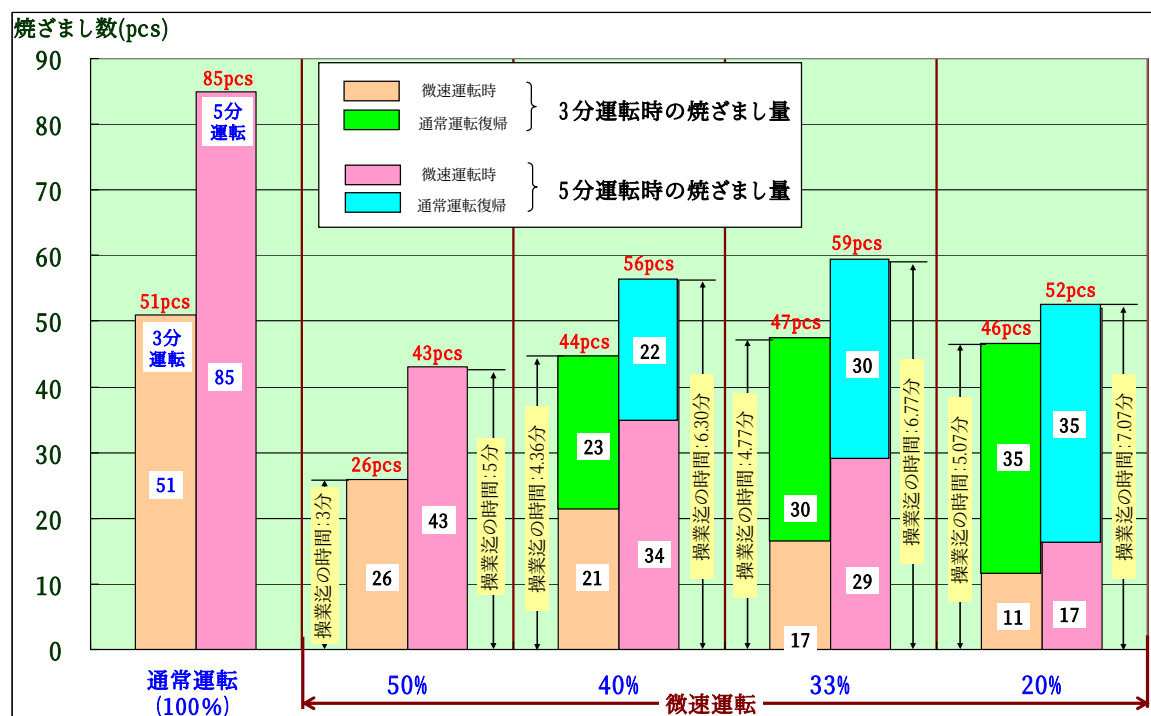


図-10: φ83 コイルにてφ75mm x 117.7mmL ビレットでの「焼ごましムダ削減」評価結果

[図-10の解説]

測定条件 { a).温度計によるビレット温度が 1200°C±30°Cに入るまでの「焼ごまし数量」をカウントする。
b).使用したサンプル試験サイズは、φ75 x 117.7mmL ビレットを使用し、評価試験を行った。
c).100%通常運転仕様:送り速度 V=33.2mm/sec (サイクルタイム C/T=約 3.5sec/pc)

①100%通常運転時の焼ごまし量…3 分間運転 [51pcs/3min]、5 分間運転 [85pcs/5min]。

②50%微速保温運転時の焼ごまし量…3 分間運転 [26pcs/3min]、5 分間運転 [43pcs/5min]。

[但し、通常への復帰時には各焼ごまし量は[0個]であった。また、操業までの待ち時間は各微速運転時間のみであり、最も**コスト低減に寄与**することが解った。]

③40%～20%微速保温運転時の焼ごまし量測定説明 [例:20%微速保温運転時の焼ごまし量で説明]
20%微速保温運転時の焼ごまし量…3 分間運転 [11pcs/3min]、5 分間運転 [17pcs/5min] に通常運転復帰時の焼ごまし数、3 分間後の焼ごまし数 [35pcs]、5 分間後の焼ごまし数 [17pcs/5min] を加えた数、3 分時は **$11+35=46pcs$** であり、5 分時は **$17+35=52pcs$** である。操業までの待ち時間は、3 分時は **$3+2.07=5.07 分$** であり、5 分時は **$5+2.07=7.07 分$** である。

⑤既設 IH 加熱機・新型ハイブリッド加熱機での $\phi 75\text{mm}$ ビレット温度測定まとめ図

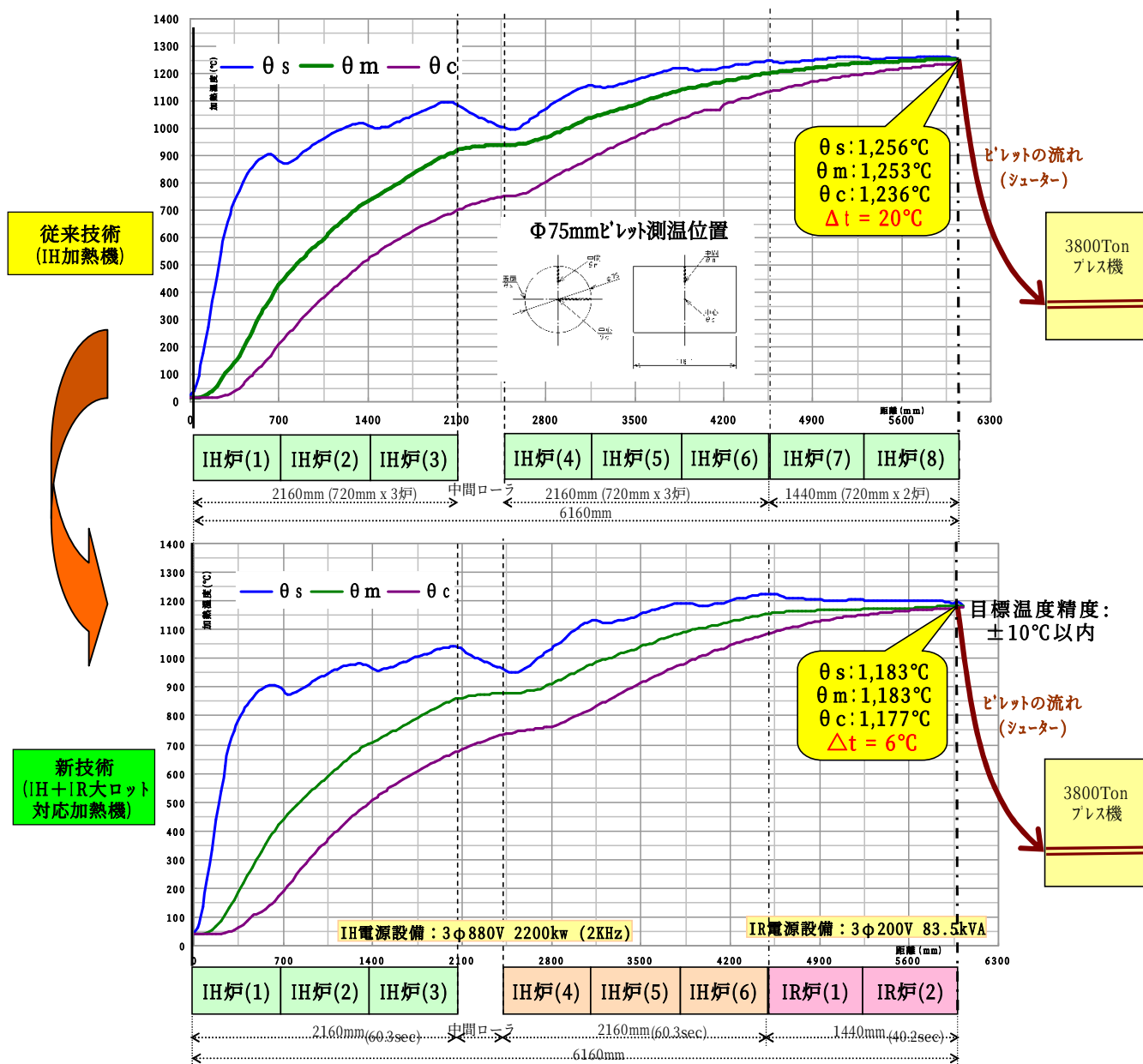


図-11: 評価搬送速度: 100%標準運転 (33.2mm/sec)、 $\phi 83$ コイルにて $\phi 75\text{mm}$ ビレット処理

2-6 素材(非鉄金属)部分遠赤外線(IR)加熱炉の開発

加熱エネルギー効率と環境改善を目的としたIR加熱炉を試作製作し、鋼及び非鉄金属材などに関する評価確認を完了した。

① 素材部分加熱炉の据付状況及び製作外形図

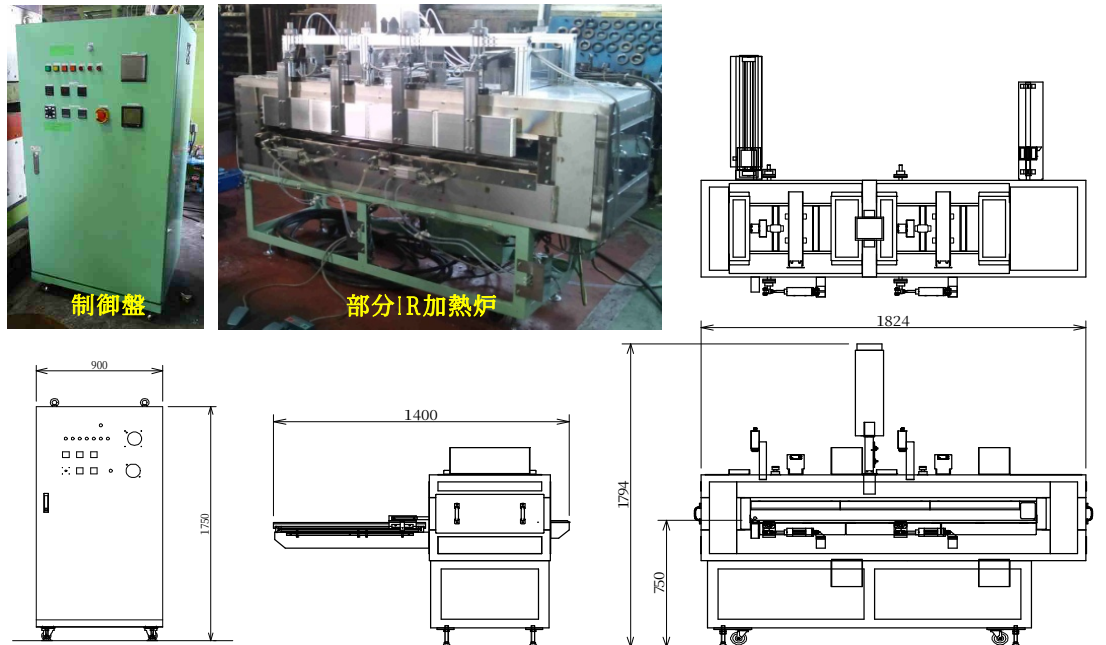


図-12: 素材(非鉄金属)部分IR加熱炉外形図

② 評価サンプル加熱試験状況及び鍛造評価試験でのサンプル品

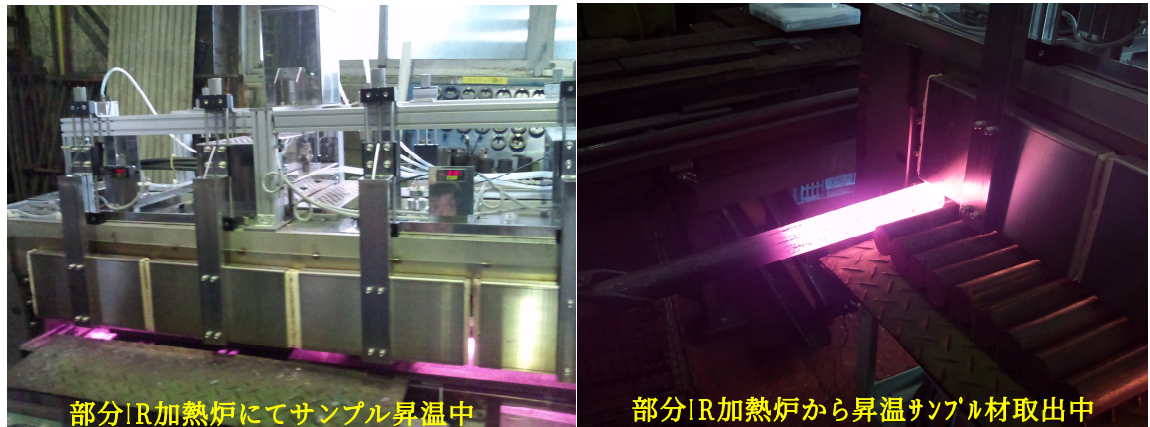


図-13: 部分IR加熱炉にて素材昇温(測温含む)及び加熱素材取出中



図-14: アプセット鍛造後(鋼材及び非鉄金属)のサンプル品

③加熱条件と加熱結果 [重油加熱炉と部分IR加熱炉による、鍛造狙い温度到達時間測定及び温度偏差値の比較データ]

表-9:重油加熱炉と部分IR加熱炉による非鉄金属・鋼材の各種比較データ

TP材質 [狙い温度]	加熱炉	狙い温度到達 時間 (mm:ss)	平均温度 (Ave °C)	温度偏差 (Δt °C)	備 考
S45C [1230±50°C]	重油炉	08:15	1208	106	*IR/重油加熱の昇温時間比は、重油加熱より、1.39～2.09倍昇温時間がかかるが、昇温時間の遅れはC/T(サイクルタイム)に合わせ事前に炉内に挿入(材料加熱)しておくことが可能であることから、 操業への支障はない と考えている。
	IR炉	11:25	1202	50	
SUS403 [1200±50°C]	重油炉	09:20	1180	108	
	IR炉	16:25	1167	46	
SUS304 [1200±50°C]	重油炉	07:10	1176	105	*ビレット均熱温度精度は、 約1.8～2.3倍の向上 が図れることから、均熱向上は品質安定化に寄与する。
	IR炉	14:59	1176	57	
C3771 [750±50°C]	重油炉	04:20	746	44	*IR加熱炉は、騒音の発生が皆無であることから、作業環境の改善に大きく貢献する。また、消費エネルギーの低減に有効である。
	IR炉	22:39	720	54	*本評価では黄銅の表面温度を正確に測定できなかったことから、安全な昇温手段(ヒータ温度を下げて昇温)としたことで、 大幅に昇温時間 が必要となった。 *最近、黄銅等・非鉄金属でも非接触にてかなり正確な表面温度を測定できる放射温度計が出てきており、 今後我らの研究課題として取り組んでいく事を検討している。

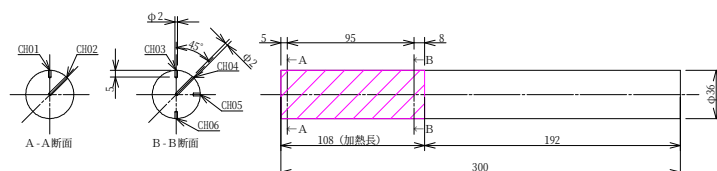
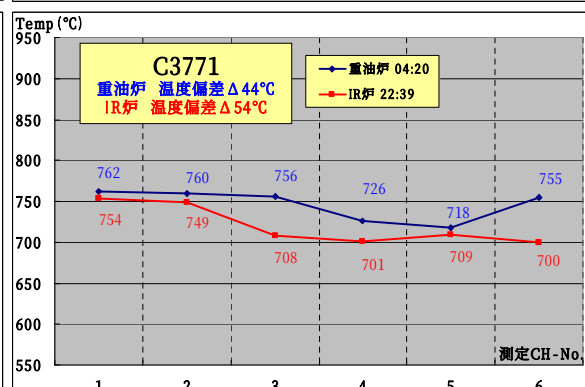
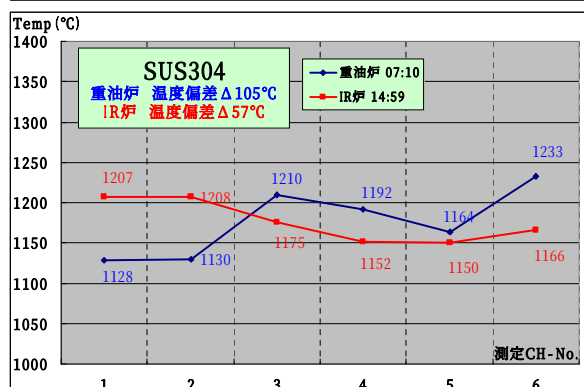
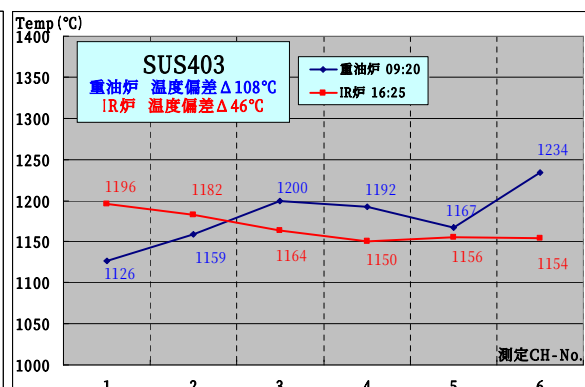
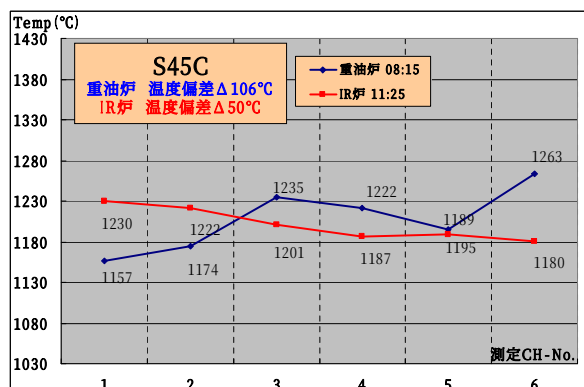


図-15:狙い温度到達時間時点の温度均熱データ及び素材テストピースへの熱電対(T.C)取付位置図

2-7 軽量型・金型予熱評価システムの開発

表-6: 鍛造金型予熱システム製作のための現状調査及び製作目標仕様

評価部品名	現 状 調 査	目 標 (昇温・均熱) 仕様
クランクシャフト 研究場所: (株) 角田鉄工所 ① 予熱器: 角形金型予熱器 (浅部形状金型)	金型予熱手法: 3種の予熱対応 1. 外段取り ^{*用語5)} 予熱 2. プレス機内セット予熱 3. チョコ停時金型保温 予熱方式: ガスバーナー加熱方式 予熱時間: 60min加熱 潤滑剤: 黒色潤滑剤使用	[鍛造製品1個目より温度一定化] 1. 外段取り予熱: RT→100℃～300℃/60min 2. プレス機内セット予熱: RT→100℃～300℃/30～60min 3. チョコ停時金型保温: 100℃～300℃/∞
ツバ付シャフト 研究場所: (株) ゴーシュー ② 予熱器: 丸形金型予熱器 (深部形状金型)	金型予熱現状: 3種の予熱対応 1. 外段取り予熱 2. プレス機内セット予熱 3. チョコ停時金型保温 予熱方式: ガスバーナー加熱方式 予熱時間: 30～60min加熱 潤滑剤: 白色潤滑剤使用	[鍛造製品1個目より温度一定化] 1. 外段取り予熱: RT→150℃～250℃/60min 2. プレス機内セット予熱: RT→150℃～250℃/30～60min 3. チョコ停時金型保温: 150℃～250℃/∞

備考: 本研究の設備電源容量は、工場溶接用予備電源 [3相 200V 100A 34kVA] で製作した。

①角形金型 (浅部形状金型) 予熱器の製作外系図及び製作予熱器

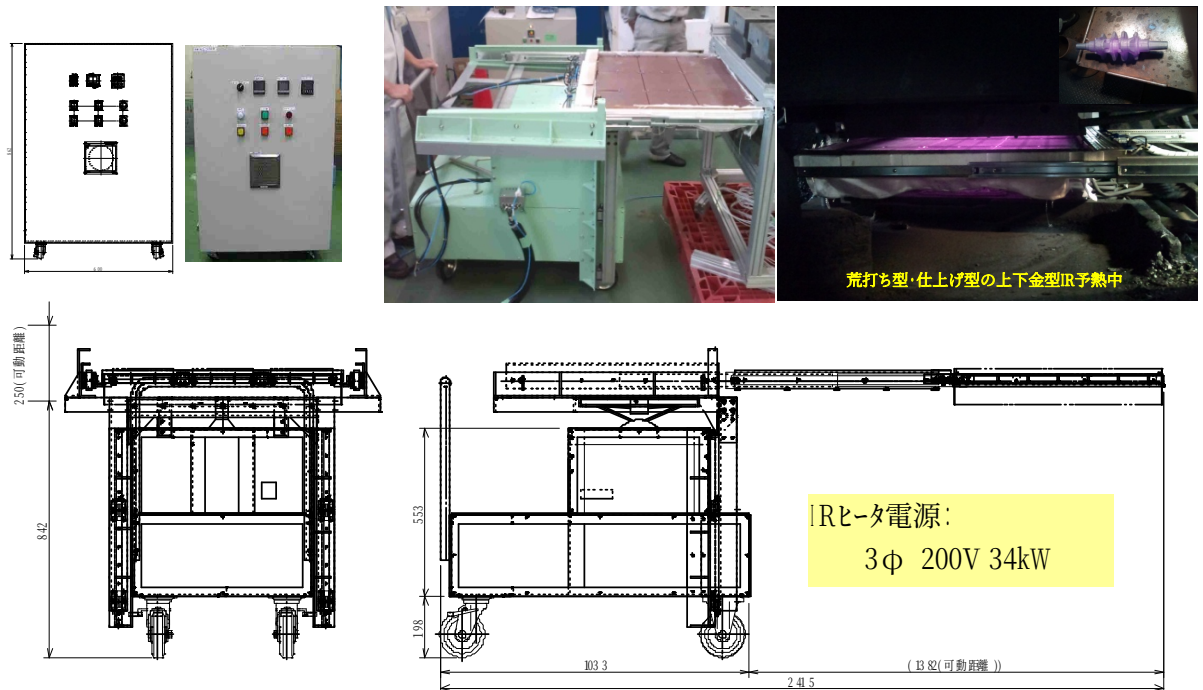


図-16: 角形金型予熱器システム製作図と装置外形写真

②丸形金型 (深部形状金型) 予熱器の製作外系図及び製作予熱器



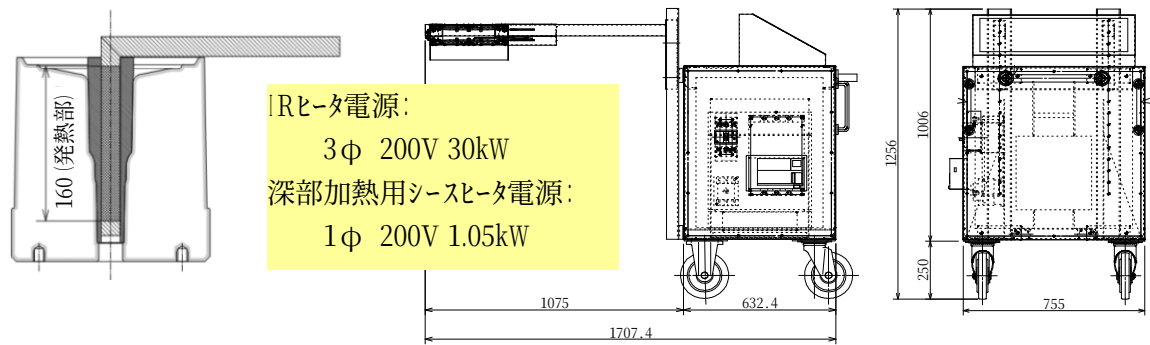
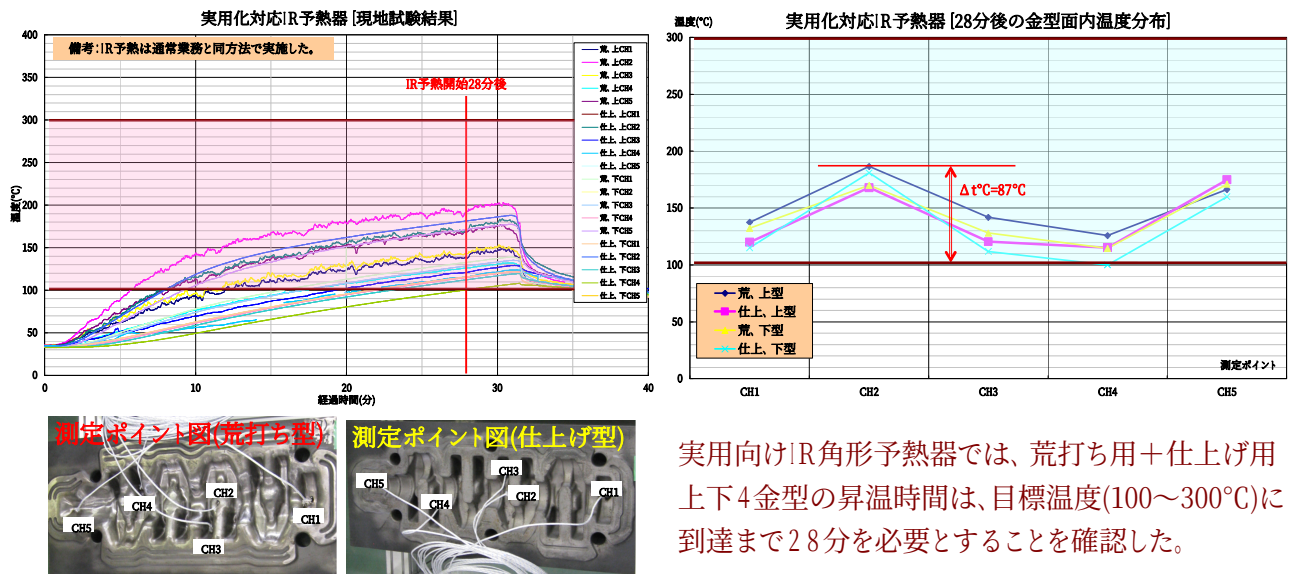


図-17: 丸形金型予熱器システム製作図と装置外形写真

2-7-1 角形金型 (浅部形状金型: クランクシャフト用) 予熱器の開発

実用化対応角形金型予熱器による荒打ち用+仕上げ用上下金型 (4型用) IR予熱器での昇温試験結果

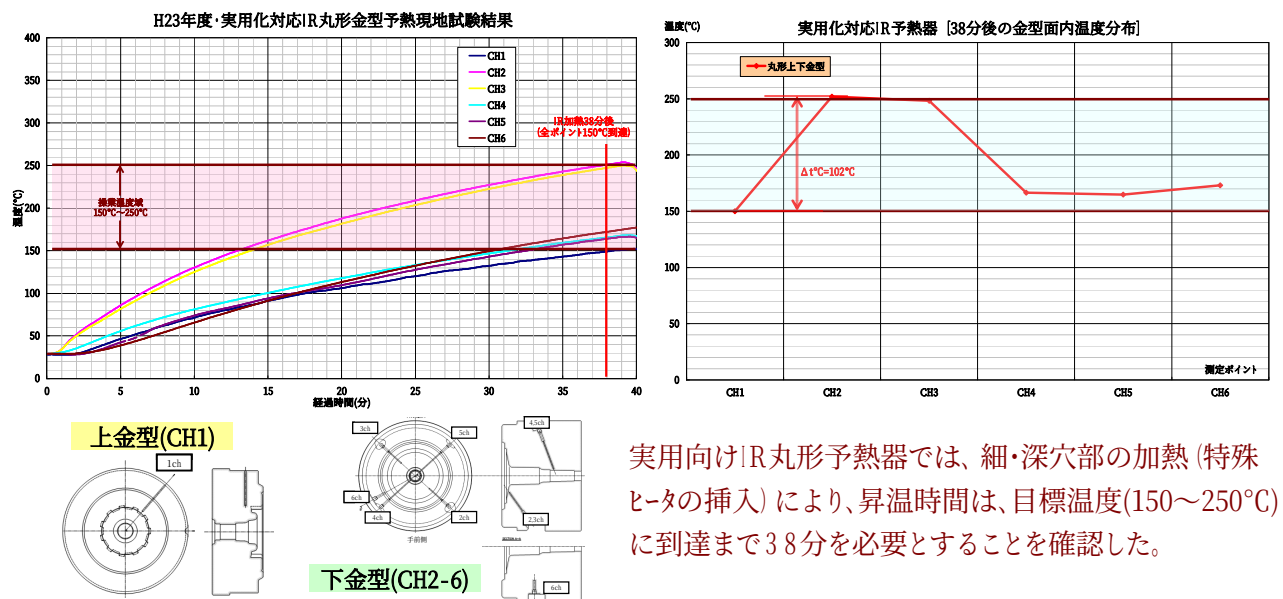


実用向けIR角形予熱器では、荒打ち用+仕上げ用上下4金型の昇温時間は、目標温度(100~300°C)に到達まで28分を必要とすることを確認した。

図-18: 上下4型用・角形金型IR予熱器 (電源設備: 3.4kW) による28分後の金型昇温データ・均熱データ

2-7-2 丸形金型 (深部形状金型: ツバ付シャフト用) 予熱器の開発

実用化対応丸形金型予熱器による細・深穴部へ特殊ヒータ挿入での昇温試験結果



実用向けIR丸形予熱器では、細・深穴部の加熱 (特殊ヒータの挿入) により、昇温時間は、目標温度(150~250°C)に到達まで38分を必要とすることを確認した。

図-19: 上下2型用・丸形金型IR予熱器 (電源設備: 3.2kW) による38分後の金型昇温データ・均熱

2-8 生産量変動対応可能なフレキシブル生産システムの構築

①システムの構築

加熱の切り口で対応できる、生産工場内でのコスト低減（ビレット加熱と金型予熱）を図るシステムを構築する。

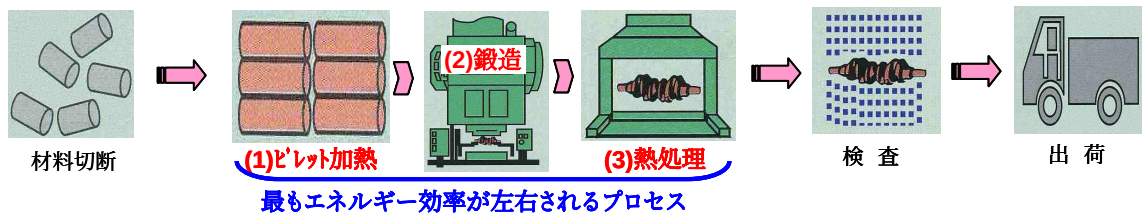


図-20: 鍛造（熱間鍛造、温間鍛造、冷間鍛造）の生産フロー図

- ②鍛造の生産フロー、図-20-(1)より、最もエネルギー効率を左右するプロセスに使用されている生産設備より、小ロット対応及び大ロット対応IH+IRハイブリッド加熱機において、「加熱エネルギー効率向上」・「IH運転効率向上」のみならず、「段取り換えなしで操業可能を確認」及び「焼ざまし量削減確認」により研究開発目標値を達成したことで、ビレット加熱フレキシブル生産システムの構築を行うことが可能と判断した。
- ③鍛造の生産フロー、図-20-(2)より、「浅部形状金型である角形金型予熱器」及び「深穴部形状金型である丸形金型予熱器」において、現在一般に使用されているガス金型予熱器に比べ「目標到達昇温速度の早さ」・「均熱温度精度の向上」評価試験において、研究開発目標値を達成したことで、鍛造金型予熱フレキシブル生産システムの構築を行うことが可能と判断した。

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

複数年の研究開発成果は、表-4（技術的数値目標と結果）及び表-5（達成成果の説明）に記載した。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

〔研究開発後の課題（本研究の波及効果を含む）〕

- ①小ロット及び大ロットライン仕様のハイブリッド加熱機は、通常の生産稼働体制時における加熱エネルギー効率向上、運転効率向上、焼ざまし低減を、現状の既設加熱機よりも経済的優位性をを実証していく。
- ②素材部分IR加熱炉は、素材加熱温度管理を確実にし、品質安定化の一層向上を目指す。また、トラブル発生時の素材保護方法の工夫を凝らし、実用機の完成度を高めていく。
- ③金型予熱器は、予熱ヒータ部や温度制御部の軽量化を再検討すると共に、予熱ヒータ部への外乱（外気の流入や熱気の放出）を防ぐためのフードや潤滑剤の滴下防止機構・流入防止シールなど付帯設備の検討を進め、評価確認していく。
- ④他分野への展開として、材料加熱では低温域での急速加熱と均熱能力を活用し、大物鍛造品の再加熱、非鉄・難成形品（軸受鋼材、インコネル材、チタン材など）の加熱、高張力鋼材（高強度材）のホットプレス用加熱、鍛造の試打ち用加熱などへの適用が可能である。金型予熱では、樹脂型、ダイキャスト型、非鉄金属も含めた温間領域の鍛造型などに展開が可能であり、今後PRを積極的に行い拡販を推進する。

〔事業化展開：事業化を行う商品（概略商品仕様を記す）〕

①素材全体加熱炉（少量多品種対応複合加熱機）



図-21: 小ロット対応ハイブリッド加熱機

小ロット対応ハイブリッド加熱機

製品例：異形リング



- *ビレット素材径φ38～65mm対応
- *少量多品種(7種)対応
- *急速昇温+省エネコンセプト
- *高温・IRユニットヒータ使用
- *使用温度：常用1250℃
- *プレス機振動対応加熱機

②素材全体加熱炉 (多量少品種対応複合加熱機)



図-22:大ロット対応ハイブリッド加熱機

大ロット対応ハイブリッド加熱機

*ビレット素材径φ55～83mm対応

製品例:ボス付ケース

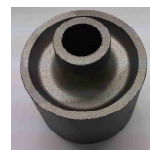
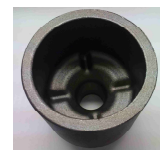
*多量少品種対応

*急速昇温+省エネコンセプト

*高温・IRユニットヒータ使用

*使用温度:常用1250℃

*プレス機振動対応加熱機



③素材(非鉄金属)部分加熱炉



図-23:素材部分加熱炉

素材(非鉄金属)部分IR加熱機

*ビレット素材径φ20～50mm対応

アプセット鍛造の製品例

*急速昇温+省エネコンセプト加熱炉

*使用温度:常用1250℃

*材質(鋼・SUS系・黄銅)、

材料径、加熱長さに対応

*プレス機振動対応加熱炉

*作業環境・地球環境に優しい加熱炉



④IR金型予熱器 (素材加熱機とのセット販売又は単独販売を検討)

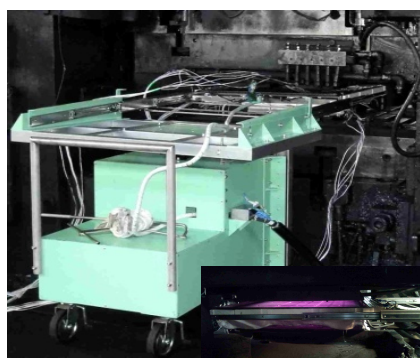


図-24:角形金型予熱器

角形(浅部形状)金型IR予熱器

製品例:クランクシャフト

*角形金型予熱(白色・黒色潤滑剤)対応

*高温・IRユニットヒータ使用

*使用温度:常用900℃

*プレス機振動対応装置

*酸化スケール落下防止対応

*作業環境・地球環境に優しい予熱炉



⑤IR金型予熱器 (素材加熱機とのセット販売又は単独販売を検討)



図-25:丸形金型予熱器

丸形(深部形状)金型IR予熱器

製品例:ツバ付シャフト

*丸形金型予熱(白色・黒色潤滑剤)対応

*高温・IRユニットヒータ使用

*使用温度:常用900℃

*プレス機振動対応装置

*酸化スケール落下防止対応

*作業環境・地球環境に優しい予熱炉



3-3 事業化(実用化)の活動計画及び手法

[事業化(実用化)の活動計画]

本研究の成果を(社)日本鍛造協会が会員会社へ普及する。
実用化にあたっては、装置製造メーカー各社が、2年間で計15社以上への導入促進活動を実施し、システム及び活用マニュアルの熟成を図る。

- 1). 鍛造製品のコスト削減化(加熱エネルギー効率及びIH運転効率向上)の技術的手法を体系化する。
- 2). 鍛造製品の機能・品質向上(加熱素材の温度均一化に基づく鍛造サンプル評価)の技術的手法を体系化する。
- 3). 本研究成果に基づき、加熱システムの定量データの活用を図るためのマニュアル作りを行う。
- 4). 温度シミュレーション技術により本研究加熱機以外のデータベース化を行う。
- 5). OJT教育指導を行う。

付記:専門用語の解説

1).誘導加熱 (IH) :Induction Heating

磁界内に金属などの良導体を置くと電磁誘導作用によって渦電流が流れて被加熱物が磁性体の場合には発熱する。鍛造加熱においては、誘導加熱コイル内に鍛造材料を置き、1200℃程度に加熱する。

[加熱効率は50%～55%である。]

2).遠赤外線加熱 (IR) :Far Infrared Rays Heating

遠赤外線加熱は電磁波による赤外線(波長0.76μm～1000μm)加熱法で、産業分野で主に利用される領域(2.5μm～30μm)で高放射率(同温度における、物質より放出するエネルギー量/理想黒体より放出するエネルギー量の比率)特性を利用した放射伝熱方式である。遠赤外線は一部の金属(例:研磨アルミニウム)を除く殆どの物質に非常に良く(例:高分子化合物・人体)吸収される。

[加熱効率は70%～75%である。]

3).焼きざまし:

加熱されたが、使用できずに放冷された材料、エネルギーと時間のムダが発生している、数回焼きざましを繰り返すと酸化スケールが多くなり使用できない。

4).チョコ停:

停止時間の少ない停止が、頻繁に発生すること(=頻発停止)。

5).外段取り:

生産の準備作業(段取り)のうち、ラインを止めずに行う段取り、型・材料の準備作業などがあり、熱間鍛造では型を150～250℃程度に予熱しておく。

対比語に「内段取り」:段取り替え作業のうち、ラインや機械設備の運転を止めなければならない、型、刃具、治具類の交換作業。

付記:参考文献

- (1). (財)鍛造技術研究所「鍛造ビレット用の省エネ型誘導加熱装置の開発研究報告書(2001年1月)」