

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 9月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人 中部科学技術センター

## 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	1
1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	5
1-3 成果概要	9
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 ヒューマンスキルアシスト型自動注湯装置の開発	11
2-1 ヒューマンスキルアシスト型自動注湯装置の開発	11
2-2 自動注湯制御技術評価治具の開発	12
第3章 熟練者の作業を注湯パラメータとして解析・後継者に継承支援する技術の開発	14
3-1 「データ収集分析システム」の開発	14
3-2 鋳造シミュレーション	15
第4章 ユーザー企業による実証評価	18
第5章 全体総括	20

## 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

銅合金鋳物は、その熱伝導性、電気伝導性、摺動特性、耐食性、機械的性質など様々な特徴を有し、水栓金具、軸受やケース等の産業機械、プロペラ等の輸送機械など様々な分野で用いられている。特に近年の水質基準の改正や EU における RoHS 規制等により、鉛等の環境負荷物質が規制対象となり、これまで鉛を主要元素として添加されてきた銅合金鋳物に対して鉛フリー化が求められてきた。本研究開発コンソーシアムのメンバーである（株）明石合銅、丸三工業（株）、（株）栗本鐵工所、愛知時計電機（株）、（独）産業技術総合研究所は、これまでそれぞれ耐圧性、機械的性質や摺動特性に優れた新しい鉛フリー銅合金を開発して、水栓金具や軸受等に適用、実用化を進めてきた。またその一部は JIS 規格化され、世界的に見ても先進的でオリジナルな材料開発が進められている。

これらの新たな鉛フリー銅合金材料を利用して、銅合金鋳物の川下ユーザーでは、様々な展開が期待されている。ユーザー企業では、水道メーターを始めとする各種流体計測機器の鉛フリー銅合金鋳物の適用、薄肉軽量化した新製品開発をおこなっている。また別のユーザー企業では、独自の材料開発を行い新しい鉛フリー銅合金の開発、JIS 規格化ののち、この新鉛フリー銅合金を用いた水道関連製品の開発と材料・製品の国内、海外展開を図っている。さらに、鉛フリー銅合金鋳物を用いた食品機械の安全性のアピールによる差別化を図っている。

材料の革新に伴い、製造技術にも革新が求められている。これまで銅合金に含有されてきた鉛の効果として鋳造性の向上がある。鉛フリー化によって鋳物の品質は製造条件により敏感になっており、今まで以上の管理、特に注湯プロセスの管理が求められている。

鋳造品を製造するプロセスの中で、方案、造型、溶解、型ばらし、仕上げ加工など注湯作業を除く前後のプロセスでは、比較的自動化が進んでおり、それらの作業は安定性も良く、作業の結果をデータとして残すのも比較的容易である。しかしながら注湯作業は、鉛フリー銅合金の鋳造、薄肉複雑形状品の鋳造、小ロット生産においては熟練者の作業に依存しており、作業の良否、安定性を評価することが難しい。そしてこのことが「穴」となり、トラブルシューティングの際に鋳造全体のプロセスの中で問題の切り分けが出来なくなっている。もちろん自動注湯装置はこれまでも存在するが、大容量の取鍋、湯口位置が

固定されている、微妙な流量調整が出来ないなど、自動化に対して時間と労力をかけられる大ロット生産に適した設備がほとんどである。そのため銅合金鋳物に多い 10kg～20kg の注湯量の小ロット生産への対応は難しいのが現状である。このように、鉛フリー銅合金の鋳造、薄肉複雑形状品の鋳造、小ロット生産に対応できる注湯技術のニーズに対応するために、有効な注湯技術の開発と活用が求められている。

(独)産業技術総合研究所では、中小企業庁・NEDO 委託事業の「中小企業基盤技術継承支援事業」の一部として、注湯の技能について後継者への継承支援を図るトレーニングツールの開発を進めてきた。特徴として、注湯量 15kg 以下の手作業での注湯速度変化とそのばらつきを計測する装置を開発し、熟練者の技能に特徴的なパラメータを抽出・解析し、後継者の作業と比較して指示、継承支援を図るものである。図1に示す。

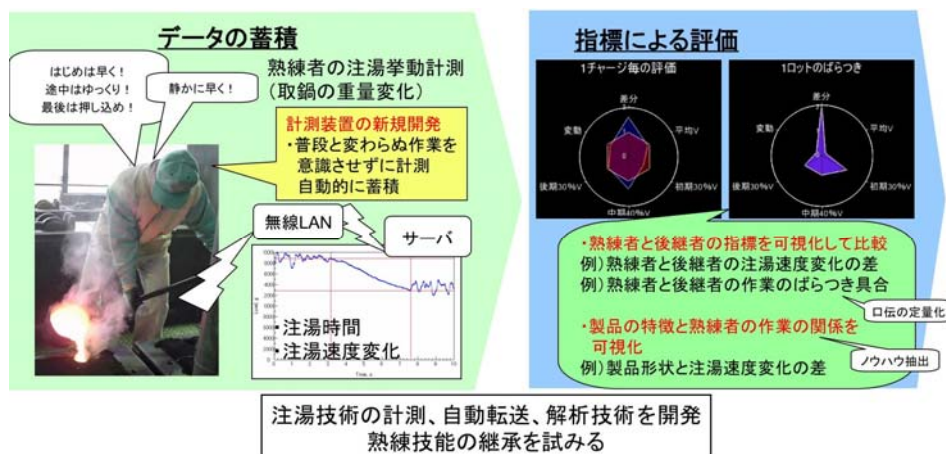


図1. 注湯技術の計測・解析による技能継承支援技術

また、兵庫県立工業技術センターは、独自の流動シミュレーション技術を有しており、注湯時の流動の解析に基礎的な知見を有している。

認定申請企業の丸三工業(株)では、これまで独自に中ロット生産に適した自動注湯装置を開発し、利用している。取鍋制御技術を中心とした自動注湯装置の設計技術を有している。

これら計測・制御・解析の技術シーズを組み合わせることにより、本事業で目標としている新たな注湯技術の開発が可能となる。熟練者の注湯作業を基に、安定した注湯を可能にする「ヒューマンスキルアシスト型」注湯制御技術および自動注湯装置の研究開発を行う。こ

れにより、川下ユーザー企業のニーズ：環境配慮、軽量化のための、鉛フリー銅合金鋳物流体計測機器の薄肉化、環境配慮のための、水道関連製品への鉛フリー銅合金鋳物の適用、環境配慮のための、鉛フリー銅合金鋳物の食品機械への適用への対応を進める。

本研究開発では、熟練者の注湯作業を基に、安定した注湯を可能にする「ヒューマンスキルアシスト型」注湯制御技術および自動注湯装置の研究開発を行い、川下ユーザー企業の課題に答える。高度化目標に対しては、熟練者の手作業に負っていた注湯作業の最適化、作業の安定化、さらに鉛フリー銅合金鋳物への対応により対応する。開発する自動注湯装置としてイメージを以下に示す。

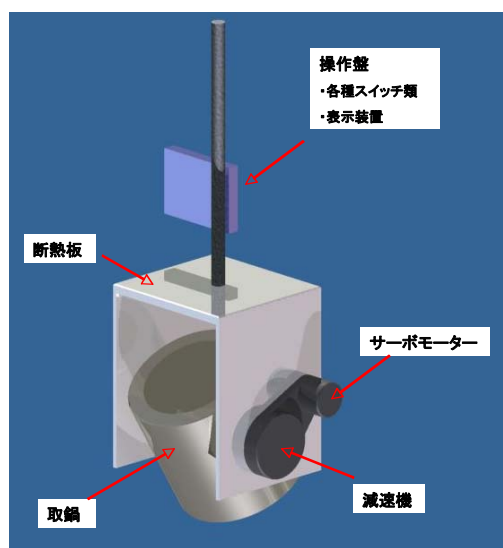


図2. 開発する自動注湯装置のイメージ

装置利用の効果として、

- ・ 製品、方案に対して速やかに注湯の最適化が可能になる。
- ・ 作業の結果を残すことができる。
- ・ 自動化による作業の安定化を図ることができる。

等が挙げられ、国内鋳造企業の 7 割方を占める、現在は手作業で注湯を行っている試作や小ロット生産に対応できる自動注湯装置である。

今回開発の装置を、現在ある一般的な自動注湯装置、熟練者による手作業の注湯作業と比較した。特徴を表に示すと次の通りである。

表1 各種自動注湯装置と特徴

注湯作業のタイプ	想定されるロット数	特徴	銅合金鋳物製品の例 ／注湯技術の難易度
「ヒューマンスキルアシスト型」自動注湯装置	試作、 小ロット～ 中ロット ～1,000 個/ ロット	○熟練者による最適作業 ○従来の鋳造方案の使用可 ○自動化による安定作業 ○鉛フリー銅合金鋳物への対応 ○薄肉複雑形状品への対応 ○作業状態の記録可	電磁弁など、 薄肉・複雑形状品 鉛フリー銅合金鋳物／難しい
熟練者の手による注湯作業	小ロット～ 試作 ～1,000 個/ ロット	○熟練者による最適作業 ○従来の鋳造方案の使用可 ×手作業によるばらつき ○鉛フリー銅合金鋳物への対応 ○薄肉複雑形状品への対応 ×作業状態の記録不可	電磁弁など、 薄肉・複雑形状品 鉛フリー銅合金鋳物 ／難しい
一般の自動注湯装置 (大型取鍋傾動式／加圧式／ストッパ式)	大ロット 10,000 個/ ロット～	×注湯条件の最適化が必要 ×鋳造方案の最適化が必要 ○自動化による安定作業 △鉛フリー銅合金鋳物への対応 ×薄肉複雑形状品への対応難 ○作業状態の記録可	水栓金具 鉛含有青銅鋳物(CAC406等) ／容易

本研究開発では、これらの技術要素に対応する形で以下の研究項目を設定した。

### 1. 「ヒューマンスキルアシスト型」自動注湯装置の開発

取鍋の傾動を制御した自動注湯制御技術を開発し、実証用装置を開発する。装置は、移動式、および吊り下げ式とする。認定企業において実証実験を行う。

### 2. 熟練者の作業を注湯パラメータとして解析・後継者に継承支援する技術の開発

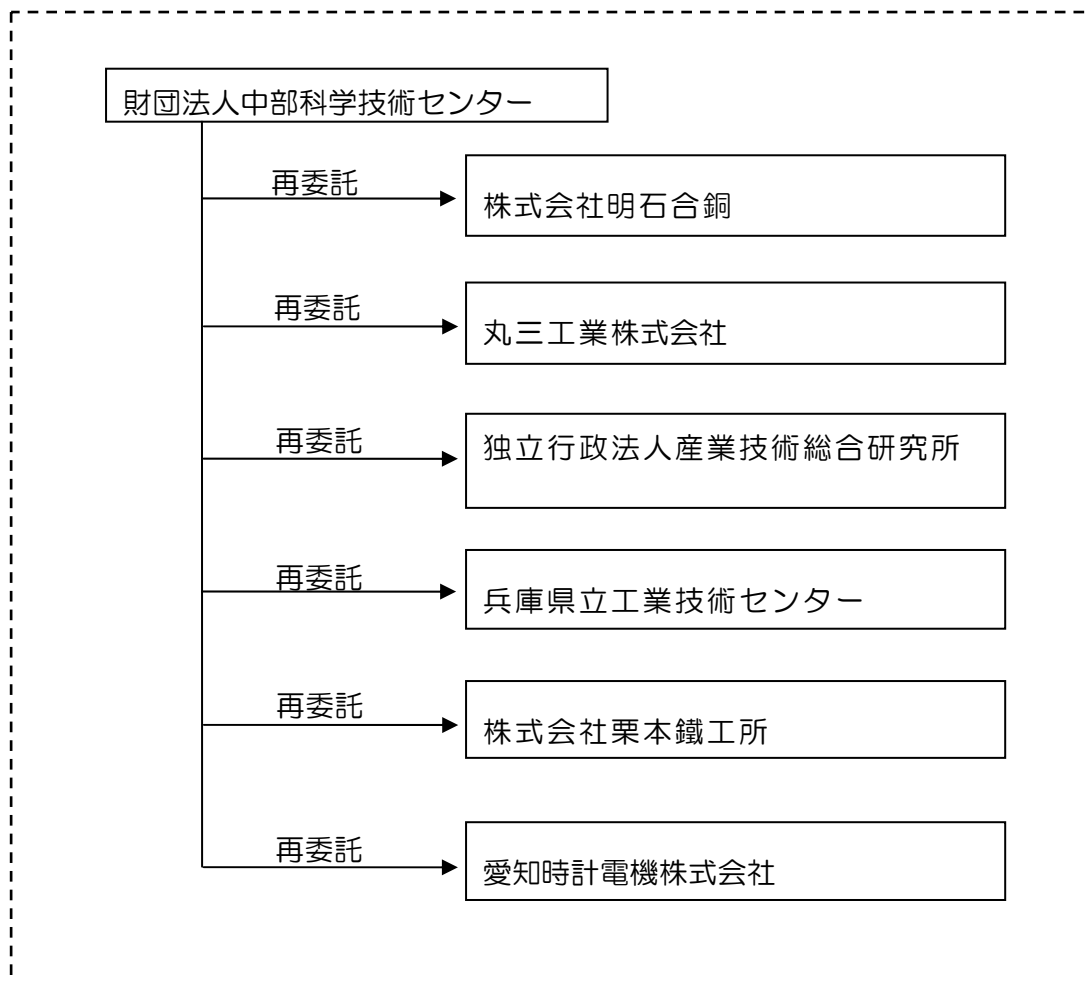
1の結果を記録・データベースとして蓄積・解析できるソフトウェアを開発する。

### 3. ユーザー企業による実証評価

流体計測機器の鉛フリー薄肉軽量化試作品、CAC904 鉛フリー銅合金鋳物「クリカブロンズ」による水道関連製品試作品の鋳造試験、CAC902 鉛フリー銅合金鋳物による食品機械試作品を本注湯装置によって鋳造、試作品の評価を行う。

## 1-2 研究体制

### 研究組織（全体）



総括研究代表者（PL）

株式会社明石合銅 常務取締役

明石 隆史

副総括研究代表者（SL）

独立行政法人産業技術総合研究所

先進製造プロセス研究部門

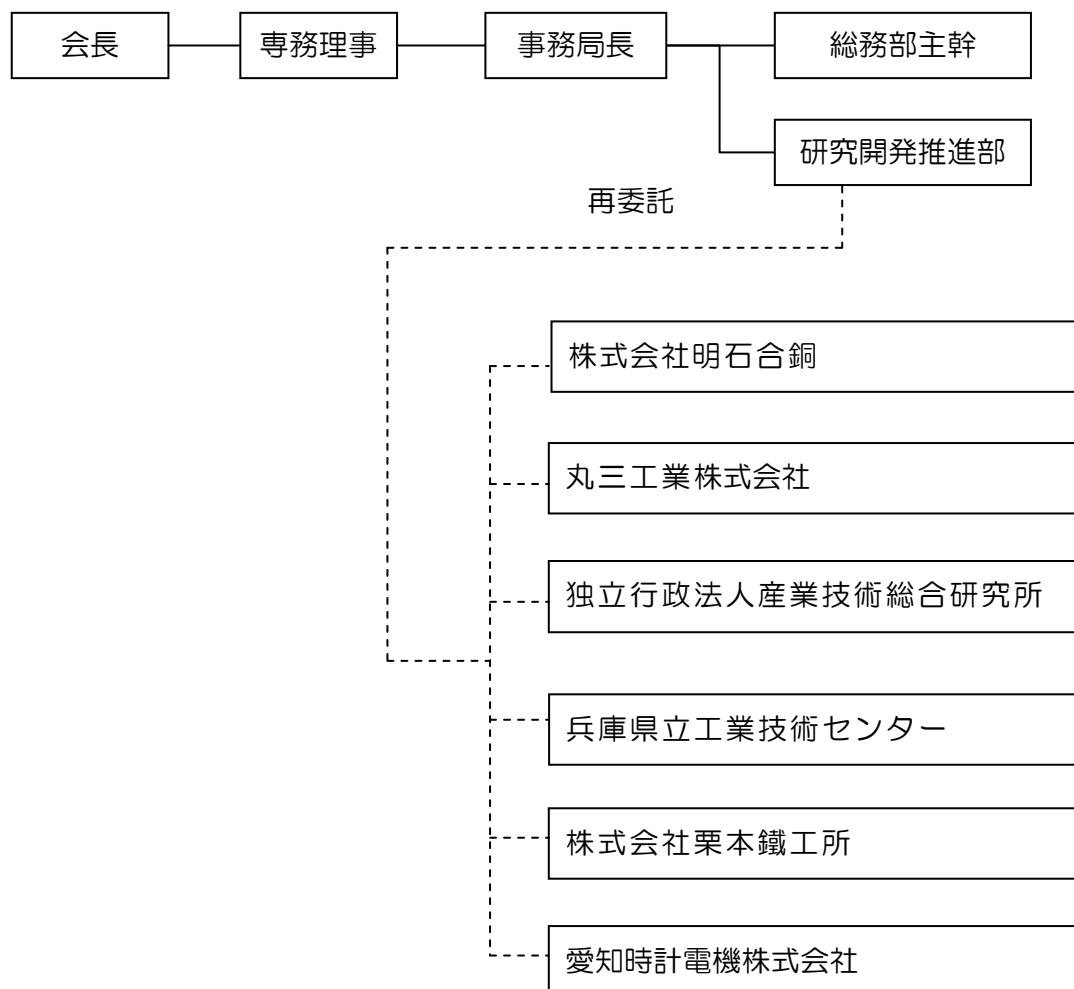
基盤的加工研究グループ・グループ長

岡根 利光

管理体制

事業管理者

財団法人中部科学技術センター





## 2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人中部科学技術センター

### ① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
永田 達也	研究開発推進部長	④
福嶋 昭	研究開発推進部 担当部長	④
大澤 秀敏	研究開発推進部 担当部長	④
平澤 進	研究開発推進部 主幹	④
宮島 和恵	研究開発推進部 主任	④
高須 容功	研究開発推進部 主任	④

### ② 研究員

【再委託先】

株式会社明石合銅

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
明石 寛治	代表取締役社長	①、③
明石 隆史	常務取締役	①、③
山口 正敏	鋳造課長	①、③
河村 勝彦	鋳造課 主任技師	①、③
野村 雅巳	鋳造課 主任技師	①、③
橋本 直也	一般職	①、③
石蔵 好晃	製造技術課 主任技師	①、③

丸三工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
丸 直樹	代表取締役社長	①、③

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
岡根 利光	先進製造プロセス研究部門基盤的加工研究グループ・グループ長	①、②
岩本 和世	先進製造プロセス研究部門可視化装置研究グループ	①、②
山内 真	先進製造プロセス研究部門 基盤的加工研究グループ 主任研究員	①、②

兵庫県立工業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
柏井 茂雄	材料技術部 部長	①、②
福住 正文	材料技術部 研究員	①、②

愛知時計電機株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
明田 勲	技術本部 製造技術部	③

株式会社栗本鐵工所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
山本 匡昭	技術開発本部 材料技術開発部 素形材グループ	③
山田 浩士	技術開発本部 材料技術開発部 素形材グループ	③

協力者（アドバイザー）

機関名又は氏名	代表者等	役職
滋賀県立大学	田中 他喜男	准教授
株式会社親和製作所	渡邊三郎	代表取締役社長
アイアン鑄設株式会社	西村博昭	代表取締役
東京大学／大阪大学	梅田高照	東京大学名誉教授 大阪大学客員教授

## 1-3 成果概要

### 1. ヒューマンスキルアシスト型自動注湯装置の開発

本事業では、ヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術及び自動注湯装置の研究開発を行い、熟練者の手作業に負っていた注湯作業の最適化、作業の安定化、鉛フリー銅合金鋳物への対応を目指した。

開発に当たっては、ヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術のコンセプトに従い、取鍋部分のハードウェアである「取鍋制御装置」、及び自動注湯における取鍋の傾動制御を行うためのハードウェア・ソフトウェアからなる「取鍋制御装置システム」を用いて、これらを組み合わせることにより、ヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術を完成させ、株式会社明石合銅においてラインに組み込み、実証評価実験を行った。

さらに自動注湯制御技術の制御の状態の評価検証のための「自動注湯制御技術評価治具」を開発・実装し、評価検証を行った。

### 2. 熟練者の作業を注湯パラメータとして解析・後継者に継承支援する技術の開発

ヒューマンスキルアシスト型注湯技術によって、注湯作業のおおよそのところが自動化され、安定生産が可能となった。後継者への注湯技術の継承支援、作業状態の把握、トラブルシューティングへの対応を進めるために、作業者の注湯作業のデータを利用して、作業者の注湯技術・作業状態の特徴抽出技術、作業者の注湯作業と製品・方案・欠陥発生と関係を解析するための湯流れ・凝固シミュレーション技術の開発を行った。

具体的には、以下のテーマで研究開発を行った。

「データ収集分析システム」を開発し、計測された注湯作業を記録・保存し、作業者による注湯作業に特徴的なパラメータ、例えば初期注湯速度、定常速度、最終速度、平均注湯速度を検討、抽出して作業状態の可視化を行った。作業者毎の比較、製品毎の比較、方案毎の比較も可能にした。

鋳造シミュレーションソフトウェアを用いて、開発した注湯装置によって得られた注湯速度と方案の関係を入力することにより、表面張力を考慮した注湯現象のシミュレーションからの評価、製品の欠陥予測までを行った。同時にシミュレーションに必要な各種材料物性値の評価検証を行った。

### 3. ユーザー企業による実証評価

丸三工業（株）の技術指導のもと、（株）明石合銅において、開発した、ヒューマンスキルアシスト型自動注湯装置により川下ユーザー企業の試作品を鋳造し、鋳造企業及び川下ユーザー企業において鋳造品の評価を行い、技術開発成果の実証を試みた。

開発した自動注湯装置を用いて、（株）明石合銅において、ユーザー企業の製品 2 種、について鋳造を行った。材質は鉛フリー青銅である CAC902 を溶解し、鋳型に注湯後、製品の湯廻り状況について目視にて確認を行った。

また、別のユーザー企業のモデルについても鋳造を行い、良好な鋳造結果が得られており、このユーザー企業の鋳造品に対して十分に対応可能であるとの評価を得た。注湯速度や注湯量は、ほぼ一定となっていたので、鉛フリー薄肉軽量品にも対応できる可能性が充分にあると考えられる。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

##### ①事業管理機関

住所：〒460-0011 愛知県名古屋市中区大須 1 丁目 35 番 18 号  
名称：財団法人中部科学技術センター  
代表者役職・氏名：会長 野嶋 孝  
Tel: 052-231-3043 Fax: 052-204-1469  
E-mail: info@cstc.or.jp

連絡担当者所属役職・氏名：研究開発推進部長 永田 達也  
Tel: 052-231-3549 Fax: 052-204-1469  
E-mail: t.nagata@cstc.or.jp

##### ②総括研究代表者（PL）

(フリガナ)：アカシ タカフミ  
氏名：明石 隆史  
所属組織名：株式会社 明石合銅  
所属役職：常務取締役  
Tel: 076-276-5533  
Fax: 076-276-9139  
E-mail: takafumi@akashigo.com

##### ③副総括研究代表者（SL）

(フリガナ)：オカネ トシミツ  
氏名：岡根 利光  
所属組織名：独立行政法人 産業技術総合  
研究所 先進製造プロセス部門  
基盤的加工研究グループ  
所属役職：研究グループ長  
Tel: 029-861-7287  
Fax: 029-861-7129  
E-mail: okane-t@aist.go.jp

## 第2章 ヒューマンスキルアシスト型自動注湯装置の開発

### 2-1 ヒューマンスキルアシスト型自動注湯装置の開発

本事業では、ヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術及び自動注湯装置の研究開発を行い、熟練者の手作業に負っていた注湯作業の最適化、作業の安定化、鉛フリー銅合金鋳物への対応を目指す。

開発に当たっては、ヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術のコンセプトに従い、取鍋部分のハードウェアである「取鍋制御装置」、自動注湯における取鍋の傾動制御を行うためのハードウェア・ソフトウェアからなる「取鍋制御装置システム」を開発し、これらを組み合わせることにより、ヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術を完成させ、評価検証を行った。

さらに、「取鍋制御装置」および「取鍋制御装置システム」を組み合わせ、特に、従来からあるライン・設備の変更無く取鍋部分の置き換えで済む実証機を開発し、株式会社明石合銅においてラインに組み込み、試験鋳造を行い、実証評価実験とした。

開発した自動注湯装置およびライン上での実証実験の結果、仕様・目標通り、自動注湯を可能にした。



図3 開発した自動注湯装置

## 2-2 自動注湯制御技術評価治具の開発

(拡張現実) AR 技術を活用して、作業者が注湯制御状態を確認する機能を開発した。これらの機能は、自動注湯制御技術の制御の状態の評価検証のための「自動注湯制御技術評価治具」の機能として実装し、評価検証を行った。

これらの機能を実現させる装置の概要を図4に示す。自動注湯装置上あるいは鋳型上に位置合わせ用のマーカーを貼り付け、取鍋、湯口、及びマーカーを映すようにビデオカメラを設置する。取鍋制御装置により自動注湯制御が行なわれている時は、使用している制御情報を有線、あるいはネットワークを通じた通信により、同じく作業支援 PC に取り込む。作業支援 PC では、ビデオカメラとマーカーとの相対的な位置関係が計算され、取鍋制御装置から受け取ったデータと合わせて、取鍋が現在ある位置及び傾動角が計算される。計算された結果は、コンピュータ・グラフィクス (CG) 映像として表示される。作業者はその映像を自動注湯装置上に固定されたディスプレイ、あるいはヘッドマウントディスプレイ (HMD) により、作業を行ないながら観察することができる。CG 映像を見ながら作業することで、作業者は取鍋が所望の傾動角になっているか、湯口位置に対して取鍋が正しい位置にあるかを検証できる。

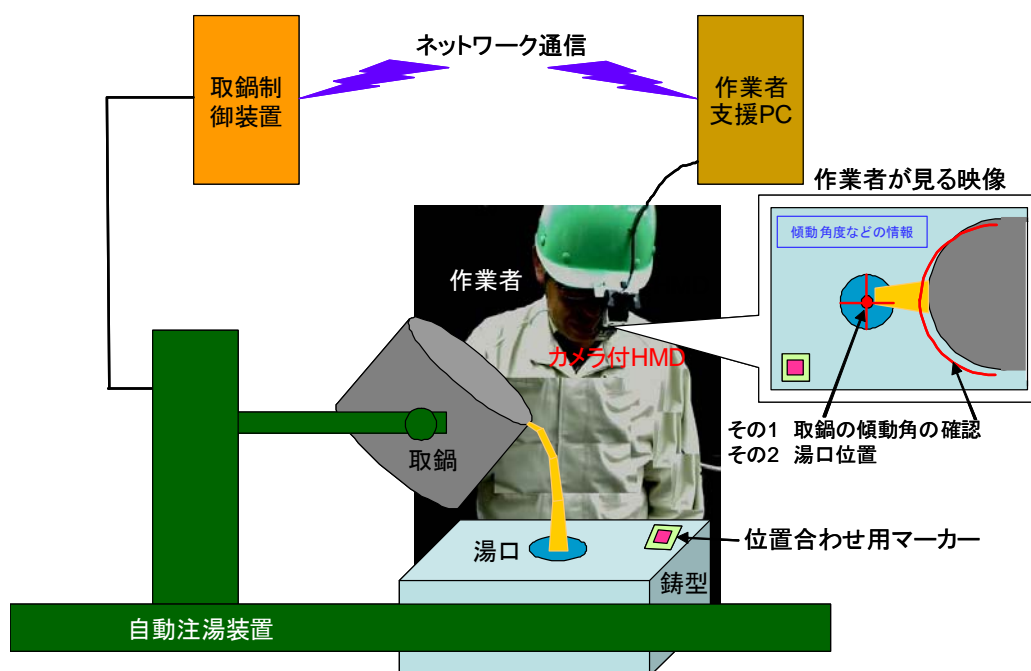


図4 自動注湯制御技術評価治具の概要

作業者は身に着けた HMD により、取鍋及び湯口を模したコンピュータ・グラフィクス映像を、実物に重ね合わせて見ることができる。黄緑色の取鍋 CG と水色の湯口 CG の他に、検出したマーカをハイライトして表示した。今回用いた HMD は光学シースルー型なので、このように CG 映像のみを表示すれば、作業者は HMD を透過して観察される実物と、CG 映像が重ね合わさった形で見ることができる。HMD の横に取り付けたカメラの映像と重ね合わせたものを図5に示す。図5(a)は傾動前であり、実物の取鍋と取鍋の CG は立った状態である。図5(b)は傾動中であり、実物の取鍋の傾きと、取鍋の CG の傾きが合っていることが確認できる。このように作業者が図5のような映像を見ることにより、自動注湯制御技術により取鍋が正しく傾動しているかどうかを、作業現場で実際に作業しながら評価することができる。



(a) 傾動前



(b) 傾動中

図5 カメラ映像と CG 映像を重ね合わせたもの

### 第3章 熟練者の作業を注湯パラメータとして解析・後継者に継承支援する技術の開発

#### 3-1 「データ収集分析システム」の開発

ヒューマンスキルアシスト型注湯技術によって、注湯作業が自動化され、安定生産が可能となったが、技術者の注湯技術は依然として重要・必要である。後継者への注湯技術の継承支援、作業状態の把握、トラブルシューティングへの対応を進めるために、作業者の注湯作業のデータを利用して、作業者の注湯技術・作業状態の特徴抽出技術の開発を行った。

そのため、「データ収集分析システム」は、注湯作業を記録、保存、解析するソフトウェアで、注湯作業を記録・保存し、作業者による注湯作業に特徴的なパラメータ、例えば初期注湯速度、定常速度、最終速度、平均注湯速度を検討、抽出して作業状態の可視化を行った。作業者毎の比較、製品毎の比較、方案毎の比較も可能にし、以下の機能を構築した。

- ・「取鍋制御装置システム」からのデータ転送、変換機能
- ・1チャージ毎の評価、分析（熟練者とトレーナの比較機能）
- ・1ロットのばらつき分析機能
- ・1ロット毎の評価機能

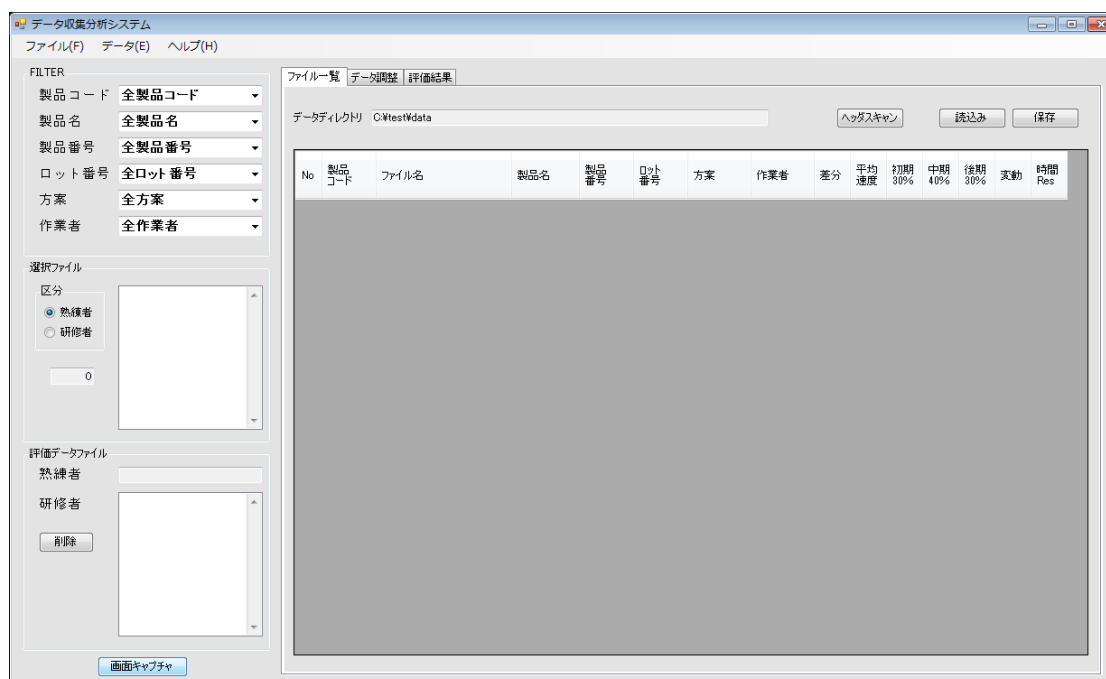


図6 データ収集分析システムのメイン画面



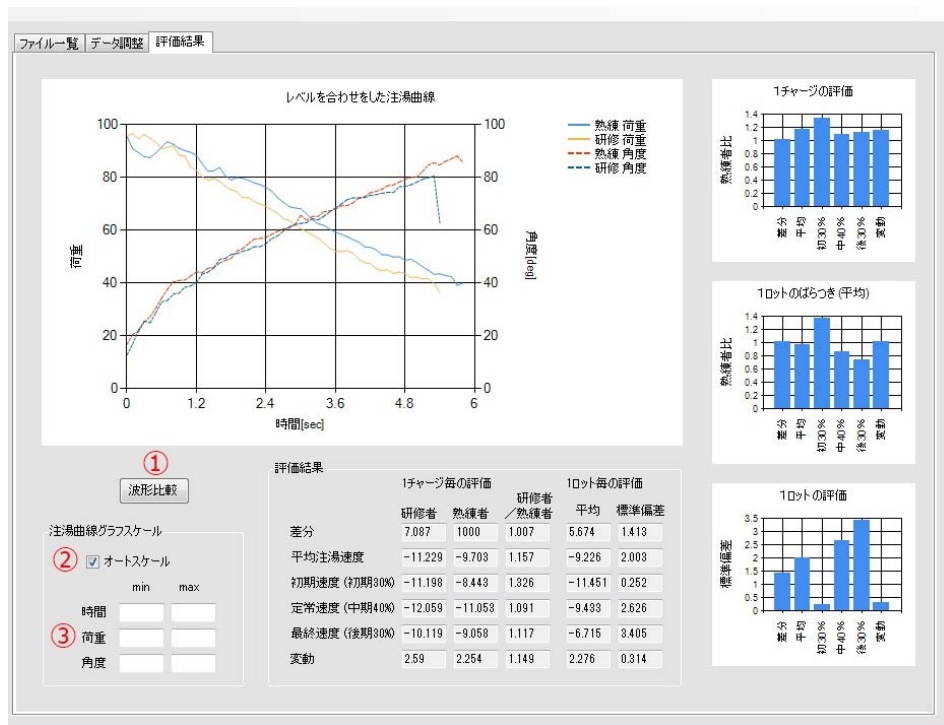


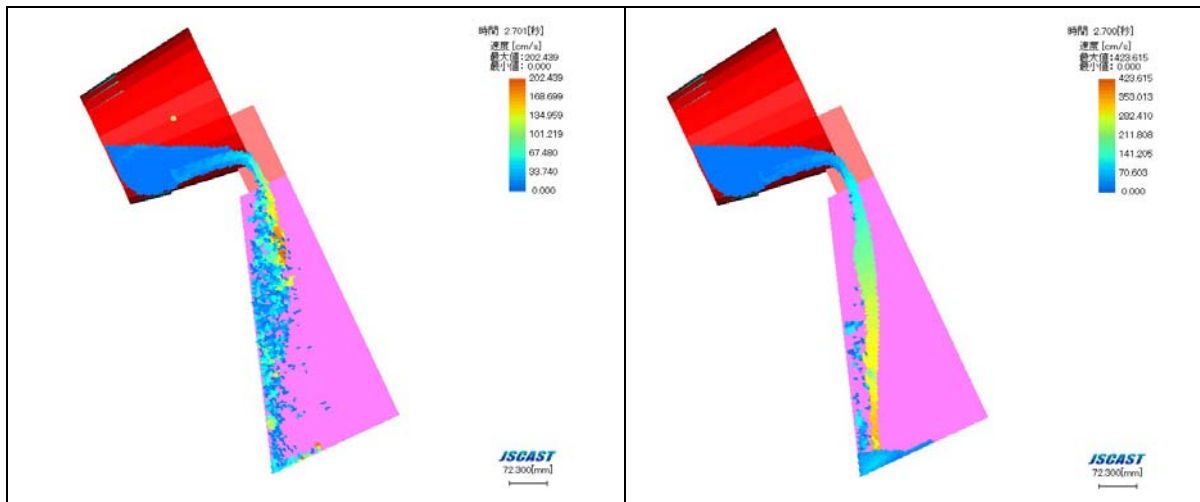
図7 評価結果画面

### 3-2 鋳造シミュレーション

作業者の注湯作業と製品・方案・欠陥発生と関係を解析するための湯流れ・凝固シミュレーション技術の開発を行った。鋳造シミュレーションを用いて、開発した注湯装置によって得られた注湯速度と方案の関係を入力することにより、表面張力を考慮した注湯現象のシミュレーションからの評価、製品の欠陥予測までを行った。

自動注湯機の取り鍋形状を正確にコンピュータ上で再現し、ルツボを傾動させたときの湯流れ状態をシミュレーションすることで、注湯位置の予測および注湯速度の変化を評価した。

シミュレーションでは、溶湯の表面張力の考慮の有無が湯流れ状態に大きく影響すると考えられたため、表面張力の影響を調べた。図8に溶湯の表面張力を考慮しない場合と考慮した場合のシミュレーション結果を示す。表面張力を考慮しない場合では溶湯がバラけて落下し、落下地点の評価が困難である。表面張力を考慮することで、溶湯は線を引くように落下しており、より実際の湯流れ状態に近づいている。

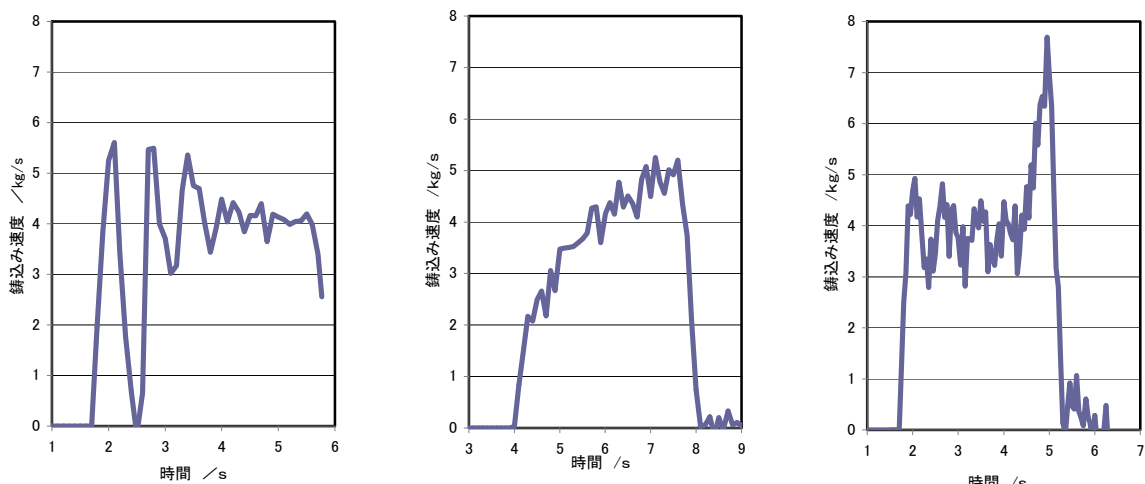


(a)表面張力を考慮しない場合

(b)表面張力を考慮した場合

図8 溶湯表面張力による湯流れ状態の変化

次に、鑄込み速度の評価結果を図9に示す。(a)は未熟者の場合で、ルツボから溶湯が流れ出した際にためらいがあり、注湯が途切れている。(b)は一定の角速度で注湯を行った場合をシミュレーションしたもので、時間とともに注湯速度が速くなっている。一方(c)は熟練者をシミュレーションしたものであるが、一定速度で注湯を行い最後に一気に湯を注ぎ込む特有の注湯パターンが確認できる。鑄型内の湯流れシミュレーションでは、多くの場合一定注湯速度で計算を行っているが、図のように作業により大きく注湯パターンが異なることから、今後湯流れシミュレーションによる欠陥の予測と対策には注湯パターンの考慮が不可欠であると考えられる。



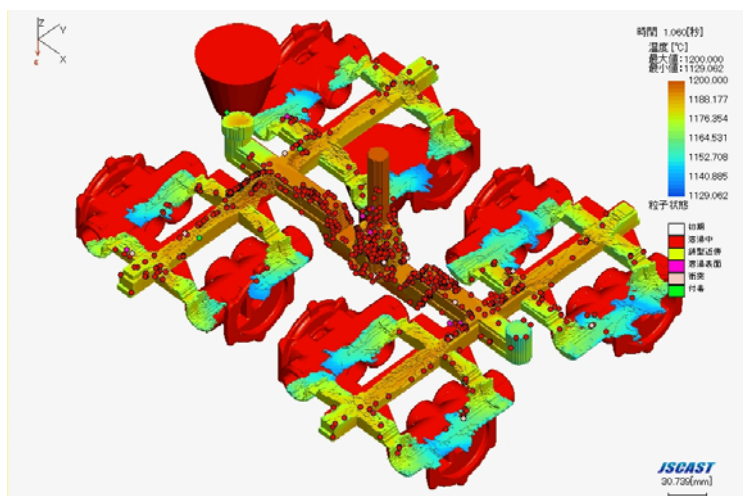
(a)未熟者

(b)一定角速度で傾動

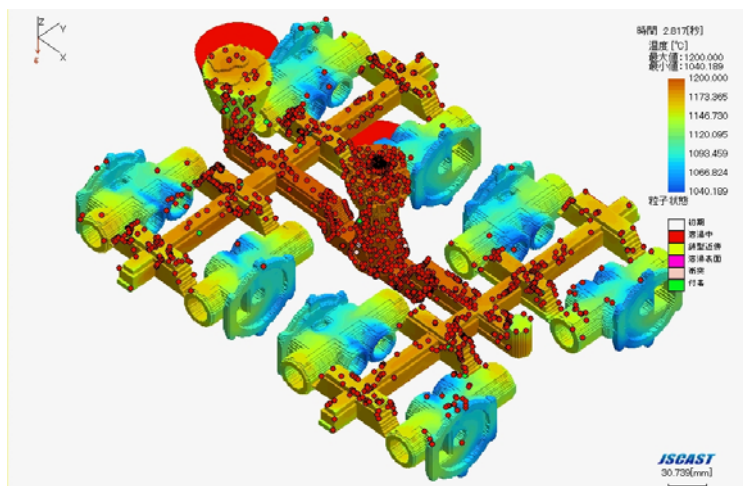
(c)熟練作業者を再現

図9 作業による鑄込みパターンの相違

熟練者の注湯パターンをもとに、湯流れシミュレーションを行った結果を図10に示す。赤い丸はノロ、砂かみ欠陥の予測結果を示している。(a)の1秒後では上がりのある左側の充填が右側よりも遅れている。また、湯口付近で発生したノロ、砂かみのマーカは湯道を通して鋳物に流入し始めている。(b)の2.8秒後には湯回りは完了しており、これは実測時間とほぼ一致する。鋳込みのパターンを変えて欠陥予測を行ったが、現状では欠陥の予測で明確な差が認められなかった。今後欠陥の発生条件を検討することで、鋳込みパターンによる欠陥の発生状況に相違を見出せると考えており、これを行うことにより熟練技術の解析とその伝承に役立てる予定である。



(a)約1秒後の湯回り状態



(b)約2.8秒後(湯回り完了時)の湯回り状態

図10 鉛フリー銅合金鋳物の湯流れシミュレーション  
(赤い丸はノロ、砂かみを予測したマーカ)

#### 第4章 ユーザー企業による実証評価

丸三工業（株）の技術指導のもと、（株）明石合銅において、上記で開発した、ヒューマンスキルアシスト型自動注湯装置により川下ユーザー企業の試作品を鑄造し、鑄造企業及び川下ユーザー企業において鑄造品の評価を行い、技術開発成果の実証を試みた。

上記の自動注湯装置を用いて、ユーザー企業の鑄造品2種について鑄造を行った。材質は鉛フリ-青銅である CAC902 を溶解し、鑄型に注湯後、製品の湯廻り状況について目視にて確認を行った。試験注湯結果の例を図11に示す。

また、別のユーザー企業の鑄造品のモデルについても鑄造を行い、実験の最初であったので初期は不良が発生していたが、安定してからは良好な鑄造結果が得られており、当該ユーザー企業の鑄造品に対して十分に対応可能であるとの評価を得た。

一般に湯廻り不良が発生する原因として、注湯温度が低い、注湯速度が遅い、注湯点（位置）が悪いなどの要因が考えられる。しかし、今回のテストでも湯廻り不良が発生したが、溶解炉から取鍋で湯を受けてから、自動注湯装置で注湯するまでの時間が、作業不慣れにより通常より長くなってしまい、注湯温度が下がってしまったことが、大きく起因しているものと推察される。しかしながら鑄湯速度や鑄湯量は、がほぼ一定となっていたので、鉛フリ-薄肉軽量品にも対応できる可能性が充分にあると考えられる。



No. 3-1



No. 3-2



No. 3-3



図1 1 試験注湯結果 (13mm ロング下ケース)

## 第5章 全体総括

本事業では、熟練者の注湯作業から、安定した注湯を可能にするヒューマンスキルアシスト型注湯制御技術及び自動注湯装置の研究開発を行い、熟練者の手作業に負っていた注湯作業の最適化、作業の安定化、鉛フリー銅合金鋳物への対応を目指した。

1. 「ヒューマンスキルアシスト型」自動注湯装置の開発
2. 熟練者の作業を注湯パラメータとして解析・後継者に継承支援する技術の開発
3. ユーザー企業による実証評価

上記テーマについて研究を進め、当初目標と目標値を達成した。主な成果として、ヒューマンスキルアシスト型注湯装置を完成させた。周辺技術として、シミュレーションによる溶湯位置の予測を可能にした。またユーザー企業の製品の試験鋳造・評価を行った。

今後の研究において、今回の共同研究メンバーを参加メンバーとして体制を構築して進める。研究の課題として、今回開発した自動注湯装置を用いて、様々な製品に対して注湯を試み、使用上のノウハウの蓄積、精度向上、自動注湯装置に合わせた周辺設備の対応、周辺技術開発を検討している。

事業化は2つのポイントを平行して進める。開発した自動注湯技術を用いた新たな鋳造品生産と自動注湯装置の製造・販売である。

新たな鋳造品については、(株)明石合銅を中心に、鉛フリー銅合金を素材とした流体計測機器、水道関連製品、環境対応型食品機械など、ユーザー企業の製品開発に協力して鋳造品生産を進める。現在ユーザー企業の製品について試験鋳造を行いノウハウの蓄積を行っており、2年後を目処に新製品に対応することを予定している。また、(株)明石合銅で生産するその他の製品についても薄肉鋳造品を中心に適用を検討し、販路拡大につなげる。

自動注湯装置の事業化については、丸三工業(株)を中心として、研究開発で明らかとなった課題を修正して進める。注湯装置は受注生産であるため、すぐにでも製品として事業化が可能である。日本鋳造工学会・日本鋳造協会合同の銅合金研究委員会、東京合金鋳造工業協同組合をはじめとする各地域での鋳造業の組合のチャンネルを生かして発表・情報発信、組合での紹介を行い、販売に結びつける。