

平成27年度戦略的基板技術高度化支援事業

「急速空冷鋳造法による銅パイプ鋳込みアルミ板製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成28年 3月

委託者 関東経済産業局
委託先 特定非営利活動法人ものづくり支援機構

目次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
(1) 背景と目的	
i) 安価で高性能な水冷式冷却板の必要性	
ii) 従来の銅パイプ鑄込みアルミ板鑄造法の概要	
イ) 普通砂型鑄造法による銅パイプ鑄込みアルミ板の製造の可能性	
ロ) 真空砂型鑄造法による銅パイプ鑄込みアルミ板の製造法	
ハ) 重力鑄造法による銅パイプ鑄込みアルミ板の製造法	
ニ) ダイカスト法による銅パイプ鑄込みアルミ板の製造法	
iii) 急速空冷鑄造法による銅パイプ鑄込みアルミ板の製造法	
1-2 研究体制	7
(1) 研究組織及び管理体制	
(2) 管理員及び研究員	
(3) 経理担当者及び業務管理者の所属・氏名	
(4) 他からの指導・協力者	
1-3 成果概要	11
(1) 開放式耐酸化性カーボン鑄型の試作	
(2) 連続作業用窒素雰囲気制御装置の改造	
(3) 銅パイプ鑄込みアルミ板製造条件の確立	
(4) 銅パイプ鑄込みアルミ板の評価に関する研究	
1-4 当該研究開発の連絡窓口	12
第2章 本論	13
① 開放式耐酸化性カーボン鑄型の試作	
② 連続作業用窒素雰囲気制御装置の改造	
③ 銅パイプ鑄込みアルミ板製造条件の確立	
④ 銅パイプ鑄込みアルミ板の評価に関する研究	
第3章 全体総括	17

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) 背景と目的

1) 安価で高性能な水冷式冷却板の重要性

本研究開発の目的は高性能な冷却板を安価に製造し、急拡大しようとしている集光式太陽電池等に組み込んで市場に投入することにある。

自然エネルギー利用への期待が高まる中、太陽光を有効に利用して発電できる太陽電池市場は急拡大を続けているが依然として発電コストは割高とされており、さらなる高効率化、低コスト化が図られている。

太陽電池を利用して発電する際の発電コストを低減可能な方策の一つとして集光型太陽電池を利用する方法がある。単に太陽電池を配置して発電するのではなく、安価な反射鏡を使用して太陽光を集光して太陽電池に照射することにより、発電効率を向上させると同時に太陽電池の使用量を減らし、全体の発電コストを低減させようとするものである。

基本構成は下記図 1-1 の通りとなる。従来からこの方式の発電について検討されてきているが従来型装置では反射鏡としてガラス鏡が使用されており、重くて価格が高い上に破損し易い欠点が指摘されている。

さらには反射鏡にホコリなどが付着すると性能が急激に劣化するので間断ない洗浄作業が不可欠で実用上、大きな課題であった。

本研究開発が目指しているシステムでは反射鏡として安価な金属板反射鏡を使用し、全体を透明シートで覆う方式を採用することにより装置全体の重量、価格を低減させ、さらには反射鏡の洗浄作業を不要とすることにより、実用性を高めたシステムとなっている。

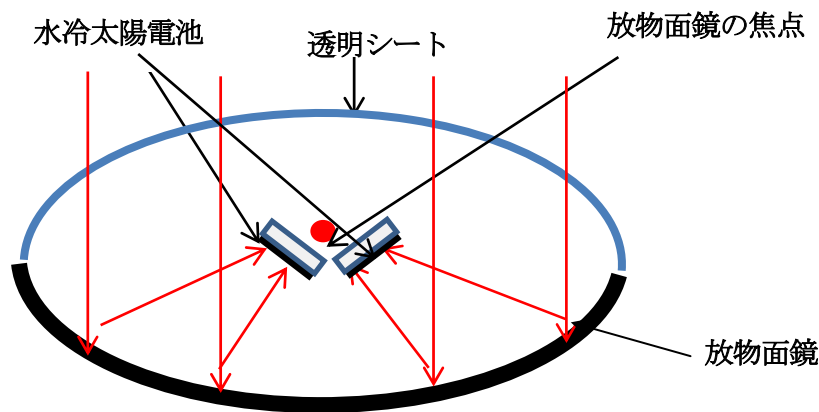


図 1-1 集光式太陽電池の模式図

断面が放物面である雨樋(トラフ)式反射鏡で太陽光を反射させて焦点位置に集光し、焦点位置近傍に配置した太陽電池で発電する。

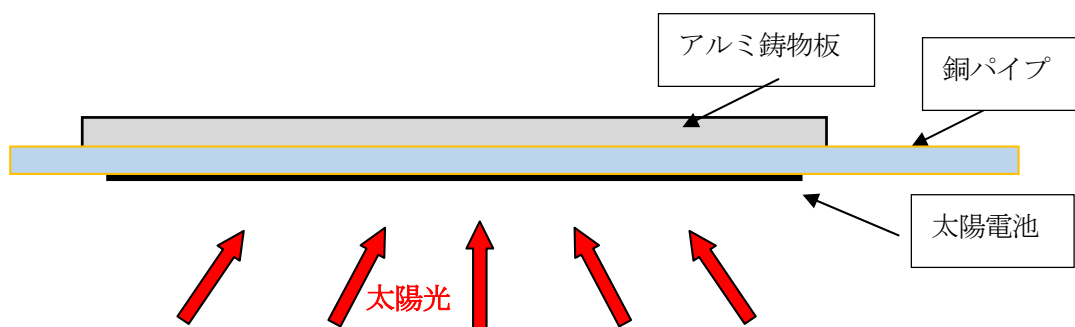


図 1-2 冷却板にシリコン太陽電池を張り付けた模式図
冷却板に貼り付けられたシリコン太陽電池の概念図

この集光式太陽電池においてはトラフ型反射鏡で集めた太陽光を太陽電池に照射するので太陽電池の温度が上昇する。

太陽電池の変換効率は温度が上がるほどに劣化するのでこれを高効率に冷却する必要がある。図 1-2 に示すように太陽電池を貼り付けた平板を用意している冷水で冷却すると温水が生じる。

これにより、このシステムでは冷水と温水が高効率に発生するので、温水を単に冷水に戻す前に温室ハウスなどに利用する方式を合体することにより総合利用効率を高め、発電コストの低減を実現できるメリットが期待される。

太陽電池を貼り付ける平板材料として最適な素材を検討した。

下の表 1-1 に各種材料の熱伝導率を示す。この表からも銅、アルミニウム、が特に優れた特性を有していることが判る。

これらの特性を参考に銅パイプを鋳込んだアルミ冷却板の安価な製造方法を確立することが出来れば大きな新市場を開拓することが可能となる。

表 1-1 各種材料の 20℃における熱伝導率 単位：(W/m⁻¹/K⁻¹)

金属材料名	熱伝導率	備考
アルミニウム	204	
黄銅	99	
鉄鋼 (炭素鋼)	50	
ステンレス (18-8)	15	
銅	386	
はんだ	49	

2) 従来の銅パイプ鋳込み板製造法の概要

アルミ板に銅パイプを埋め込む方法としてはアルミ板に機械加工法で溝を設け、ここに銅パイプを埋め込む方法などが考えられる。

これらの機械加工法もしくは単純な接着法では後述するように本研究開発が目指しているような高性能で安価な冷却板の製造は望めない。従って、ここでは鋳造法による銅パイプ鋳込みアルミ板の製造方法の確立を目指すこととする。

イ) 普通砂型鑄造法による銅パイプ鑄込みアルミ板製造の可能性

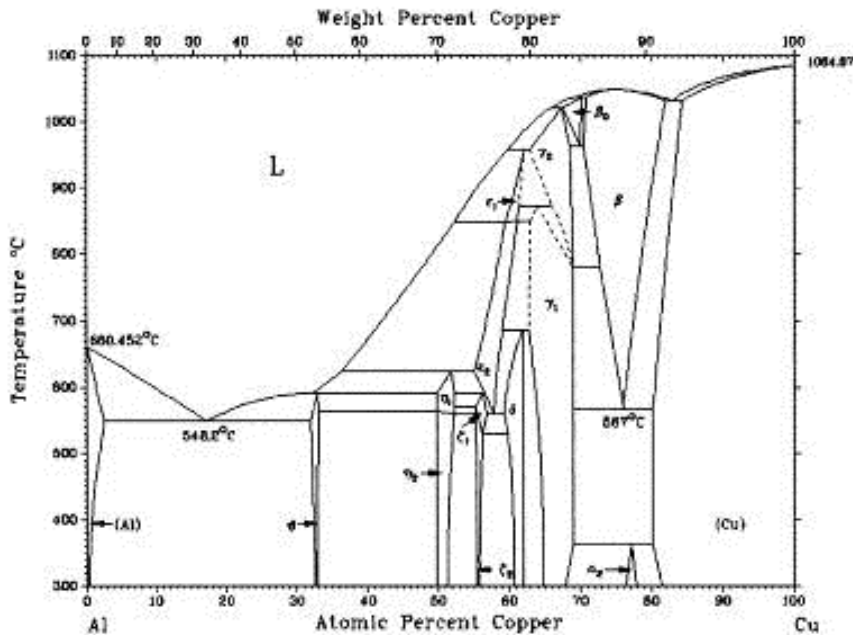


図 1-3 アルミニウムと銅 2成分系の状態図。

図 1-3 にアルミニウム—銅 二元系の状態図を示す。図からもわかる通り、銅の融点は 1085℃と高いがアルミニウムと反応すると融点は 548.2℃まで下がり続けてしまう。アルミ鑄造の場合、アルミ湯の温度は通常、700℃もしくはこれより高い温度にする場合が通常である。この温度で銅は溶けないが時間の経過と共に湯との反応が進むと融点が下がるので、最後には銅パイプは全部溶けてしまう可能性がある。従って、鑄造法で銅パイプ鑄込みアルミ板を製造しようとする次の要素を考慮する必要があることが判る。

- 1) アルミ湯を注いだ際に銅パイプが膨張して変形するのを抑止するため予め銅パイプをセットした鑄型はアルミ溶湯と同レベルの温度に加熱しておく。
- 2) 鑄型に注がれたアルミ溶湯の温度は出来るだけ早く 548.2℃以下に冷却する。
- 3) 鑄型材はアルミ溶湯との反応を無視できる素材で作成する。
- 4) 急速冷却を行うので鑄型の素材としては出来るだけ熱伝導率の高い素材を使用する。
- 5) 鑄型の使用単価を下げるため繰り返し使用するので鑄型の素材は熱衝撃に強い材料を使用する。

木型を作成し、砂型を形成させて銅パイプをセットし、砂型鑄造法によりアルミ溶湯を注いで通常の方法に従って銅パイプ鑄込み板を作成したが生成したアルミ板中で銅パイプは溶けてしまっていた。

アルミ材として低融点のもの (C 2) で試みたが、いずれも銅パイプは溶けてしまい、製品化は困難と判断された。

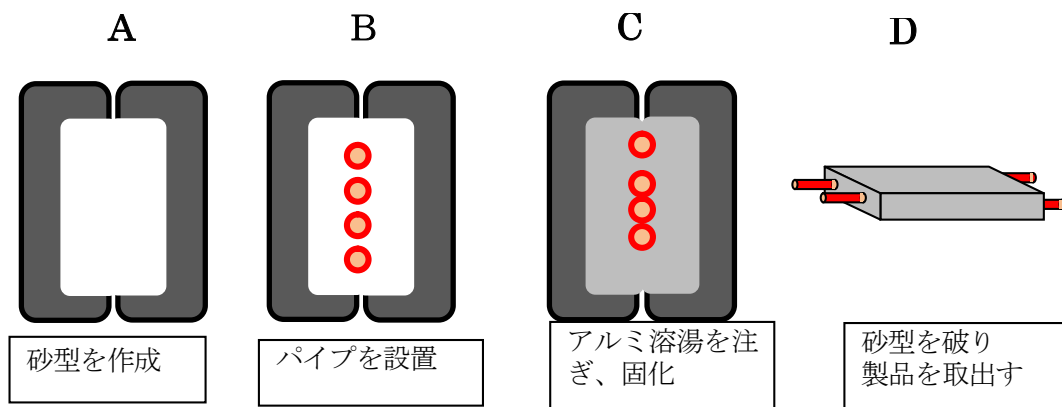


図 1-4 通常の砂型鋳造法で銅パイプ鋳込みアルミ板を製造する場合の模式図

ロ) 真空砂型鋳造法による銅パイプ鋳込みアルミ板の製造について

銅パイプ鋳込みアルミ板の製造方法として知られている方法としてV-プロセス法がある。

砂型をシートで包み、内部の残存空気を真空排気してから通常の砂型鋳造法を適用すると銅パイプ鋳込みアルミ板の製造が可能であるとされている。

図 1-5 にこのV-プロセス法による銅パイプ鋳込みアルミ板製造の模式図を示している。

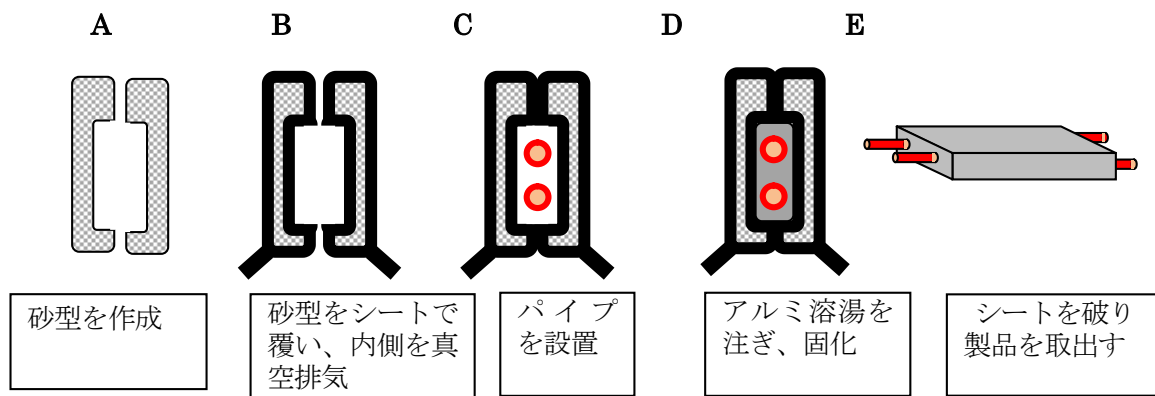


図 1-6 V-プロセス砂型鋳造法による銅パイプ鋳込みアルミ板製造法概念図

通常の砂型鋳造法では砂型の内部に空気が残っているためにアルミ溶湯が固化するまでに時間が掛かり、その間に銅パイプが反応して溶けてしまうが、V-プロセス法では砂型は真空排気されて殆ど空気は残っていないので冷却速度が速く、銅パイプが溶けずに鋳物中に残ることが可能となる方法と考えられる。

ハ) ダイキャスト法による銅パイプ鋳込みアルミ板の製造方法の検討

大量の製品を安価に製造する方法としダイキャスト法がある。本研究開発の目的は安価な高品質冷却板の製造方法の確立にある。この目的のためには大量生産が必要になった場合を想定するとダイキャスト法の適用も視野に置いておく必要がある。しかしながら現段階では顧客からの要請はそこまでの数量を確定していない上にダイキャスト法を本研究開発で想定している大型の銅パイプ鋳込みアルミ板の製造に適用しようとする必要とされる鋳型（ダイ）の試作費だけでも数

千万円の単位となり、銅パイプを配置する仕掛けについても試行錯誤が必要と思われるので、予備テストを行うに際しても予算的、時間的に無理があることが判り、ダイキャスト法の適用は現段階では断念した。

3) 急速空冷鋳造法による銅パイプ鋳込みアルミ板製造方法の確立

安価に銅パイプを内包した平板を製造する方法として鋳造法は最適と考えられるが従来のVプロセス鋳造法ではコスト的に実用には向かない。

そこでアルミ溶湯と銅パイプとの反応時間を短くして銅パイプが固化したアルミ合金中に安全に残る手段を講じることが可能となれば安価な銅パイプ鋳込みアルミ板の製造が可能となる。

そこで基本的には重力鋳造法であるがこれに急速空冷機構を付加して冷却効果を高め、かつ鋳型についても繰り返し使用可能として製品単価の低減が可能な素材、方式を探求した。

鋳型材としては下記の性能が要求される。

- ・熱伝導性が高く 急速冷却が可能な材料であること
- ・軽量で熱による変形を受け難いこと
- ・安価で繰り返し使用可能なこと

市販されている鋳型材について熱伝導率および熱膨張係数の値を比較した結果を表 1-2 に示す。

表 1-2 合金鋳型剤とカーボン（グラファイト）材の特性

	金型材・商品名 (TRIAMET)	金型材・商品名 DAC-MAGIC	カーボン (グラファイト)
熱伝導率	7 - 10	30	119 - 165
熱膨張係数	5 - 6	12	2 - 3
価格	～ 数十万円/個	～数十万円/個	～数十万円/個

単位： 熱伝導率： $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 熱膨張係数： $\times 10^{-6}/K$

上の表の値からも容易に判るように熱伝導率が高く、熱膨張の少ない材料はカーボン（グラファイト）であることが判る。そこで本研究開発における鋳型の素材としては軽量で熱伝導率が高いカーボン材が最適であるとの結論に達した。

ただし、カーボン材は 500℃を超える高温領域では酸化して表面が劣化するので長期間の安定した使用には表面を耐酸化処理し、すくなくとも 700℃程度までの高温雰囲気下で安定した使用が可能としておくことが望ましい。

以上の結果から鋳型を使用して銅パイプをセットしてからアルミ溶湯を流し、固化させて銅パイプ鋳込みアルミ板の製造は可能であることが判ったが従来の重力鋳造法のままではアルミ溶湯と銅パイプが反応して全体が固化するまえまでに銅パイプが溶けてパイプが消滅してしまう可能性が高く、何とかして安定して銅パイプを残したまま鋳造が可能な方策が必要であると判明した。

基本的な方策としては下記の通りとなる。

「予め予熱して銅パイプの急熱による変形を抑えながらアルミ溶湯を流し、出来るだけ急速に冷却して固化させる。」

上記の基本理念を実現できる方法としてカーボン鋳型を使用し、銅パイプをセットしたら所定の温度で予熱しアルミ溶湯を注いだら直ちに急速空冷して固化させることが可能なシステムを開発することとしこれを急速空冷鋳造法と命名した。

この方法の概念図は下記の通りである。

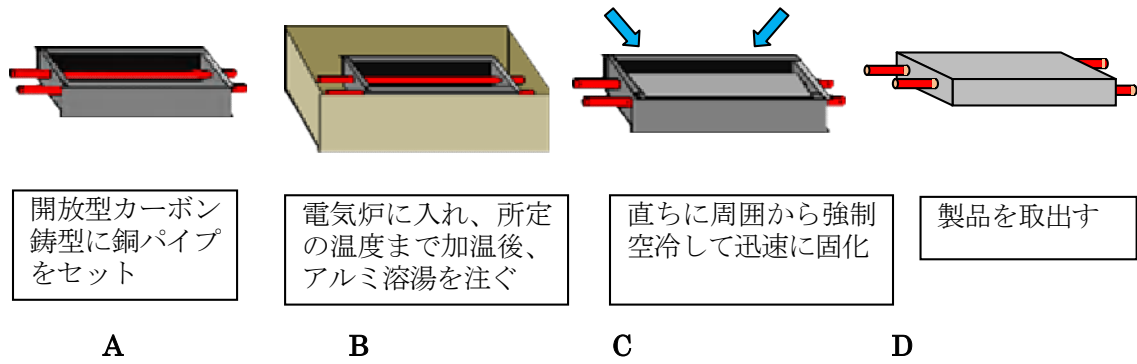
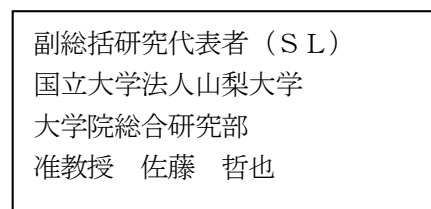
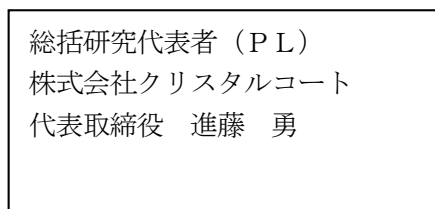
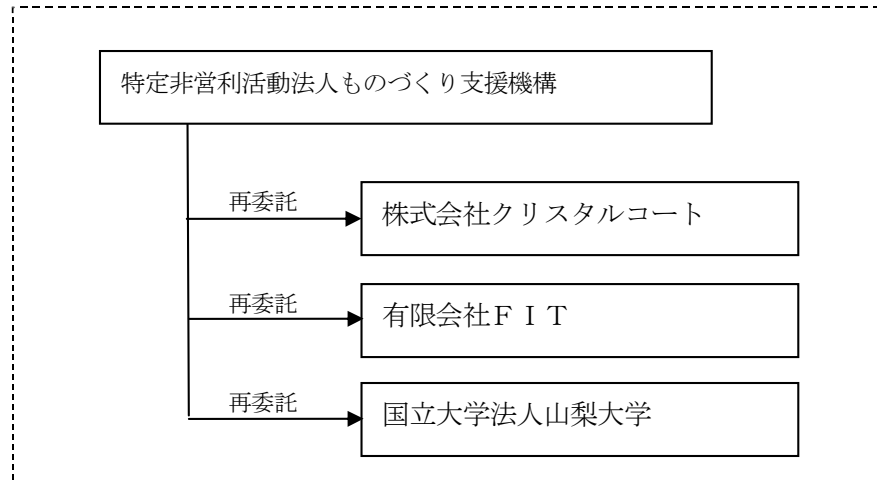


図 1-6 急速空冷鑄造法によりイプ鑄込み板を製造する工程の模式図

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

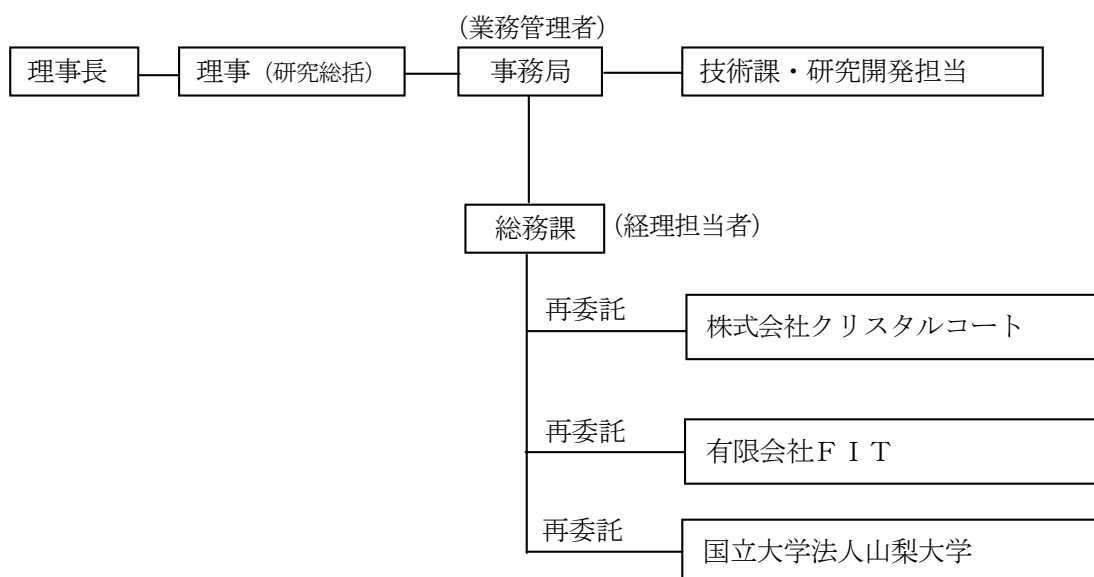
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

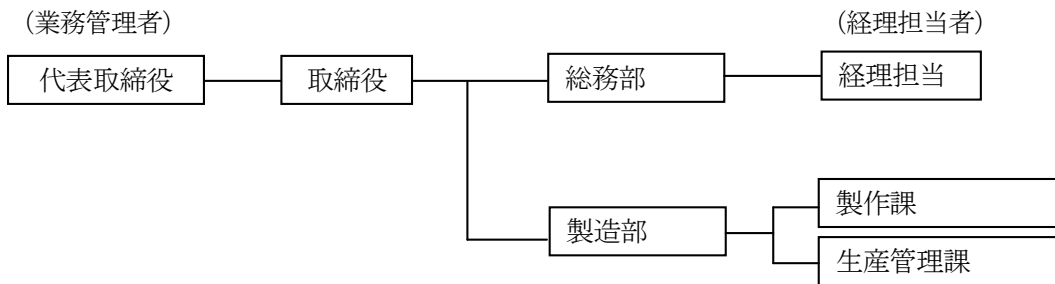
①事業管理機関

[特定非営利活動法人ものづくり支援機構]



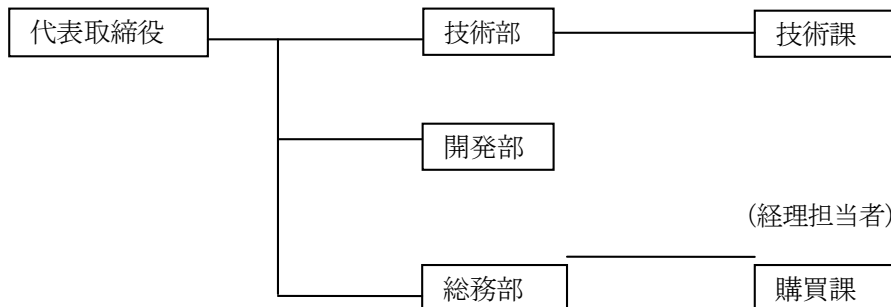
②再委託先

[株式会社クリスタルコート]

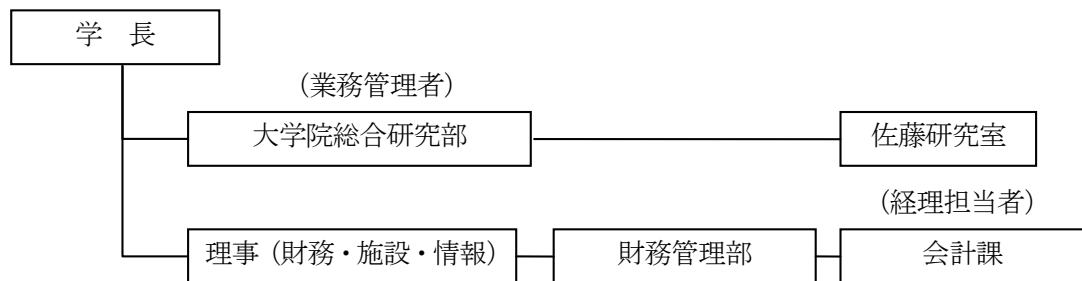


[有限会社FIT]

(業務管理者)



[国立大学法人山梨大学]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 特定非営利活動法人ものづくり支援機構

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
安留 勝敏	理事 (研究総括)	⑤
羽田 功一	事務局長	⑤
清水 けい子	総務課長	⑤

【再委託先】

(研究員)

株式会社クリスタルコート

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
二木 宏治	取締役	①③④
伏見 かつ美	製造部製作課 研究員	①③④
清水 静香	製造部生産管理課 研究員	①③④

有限会社F I T

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
進藤 卓	専務取締役兼開発部長	②③
進藤 直美	技術部技術課 研究員	②③
小林 こずえ	技術部技術課 研究員	②③
田窪 のぞみ	技術部技術課 研究員	②③

国立大学法人山梨大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
佐藤 哲也	大学院医学工学総合研究部 准教授	④

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

特定非営利活動法人ものづくり支援機構

(経理担当者) 総務課 総務課長 清水 けい子
 (業務管理者) 事務局長 羽田 功一

(再委託先)

株式会社クリスタルコート

(経理担当者) 総務部 経理担当 渡辺 崇司
 (業務管理者) 代表取締役 進藤 勇

有限会社F I T

(経理担当者) 総務部 購買課 マネージャー 進藤 静子
 (業務管理者) 代表取締役 進藤 智

国立大学法人山梨大学

(経理担当者) 財務管理部会計課 経理・契約第二グループ係長 川手 裕子
 (業務管理者) 大学院総合研究部 工学域長 豊木 博泰

(4) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
進藤 勇	株式会社クリスタルコート 代表取締役	<input checked="" type="checkbox"/> PL
佐藤 哲也	国立大学法人山梨大学大学院医学工学総合研究部准教授	SL
二木 宏治	株式会社クリスタルコート取締役	<input checked="" type="checkbox"/>
伏見 かつ美	株式会社クリスタルコート製造部製作課 研究員	<input checked="" type="checkbox"/>
清水 静香	株式会社クリスタルコート製造部生産管理課 研究員	<input checked="" type="checkbox"/>
進藤 卓	有限会社F I T 専務取締役兼開発部長	<input checked="" type="checkbox"/>
進藤 直美	有限会社F I T 技術部技術課 研究員	<input checked="" type="checkbox"/>
小林 こずえ	有限会社F I T 技術部技術課 研究員	<input checked="" type="checkbox"/>
田窪 のぞみ	有限会社F I T 技術部技術課 研究員	<input checked="" type="checkbox"/>
財部 剛	甲信アルミ株式会社 代表取締役	アドバイザー (謝金、旅費)
加藤 敏三	株式会社加藤電器製作所 技術部長	アドバイザー (謝金、旅費)
安留 勝敏	特定非営利活動法人ものづくり支援機構理事 (研究総括)	
羽田 功一	特定非営利活動法人ものづくり支援機構 事務局長	
清水 けい子	特定非営利活動法人ものづくり支援機構 総務課長	

1-3 成果の概要

(1) 開放式耐酸化性カーボン鋳型の試作（実施：株式会社クリスタルコート）

本年度は開発速度を速めるために目標サイズよりも小型のサイズの鋳型について耐酸化性薄膜形成試験を実施し、得られた結果を本来の大型カーボン鋳型への耐酸化性薄膜形成に適用して所定の目標を達成した。

*使用する小型のサイズ品は下記の通り。

- ・鋳型サイズ：奥行き：410mm、横幅：196mm、高さ：30mm
- ・鋳込みに使用する銅パイプは、外形8mm、肉厚1mm品を使用する。

*目標としている大型鋳型のサイズは下記の通り。

- ・鋳型サイズ：奥行き：410mm、横幅：196mm、高さ：30mm
- ・鋳込みに使用する銅パイプは、外形8mm、肉厚1mm品を使用する。

また、耐酸化防止被膜成分については酸化ケイ素、リン酸カルシウム及び炭化ケイ素等と硝酸水溶液とを混合した溶液を使用して耐酸化性薄膜形成に最適な条件を確立した。

(2) 連続作業用窒素雰囲気制御装置の改造（実施：有限会社FIT）

本研究開発では銅パイプをセットしたカーボン鋳型にアルミ溶湯を注いで銅パイプ鋳込みアルミ板を製造する方法を確立することを目的としている。

前年度までにアルミ溶解炉、カーボン鋳型加熱炉を全て窒素雰囲気処理装置内に収め銅パイプ鋳込みアルミ板の製造を窒素雰囲気下で行える装置を試作した。

本年度は前年度までに試作した連続作業用窒素雰囲気処理装置を改造してアルミ溶湯の注入、カーボン鋳型の位置制御を自動化して高性能鋳物の製造を可能とするために以下の項目について改造を実施した。

- *アルミ溶解炉傾斜角度位置制御機構の付加とリモート制御装置の新設
- *カーボン鋳型水平位置制御機構の付加と制御装置の新設
- *連続作業用窒素雰囲気処理装置内の残存酸素濃度計の設置

(3) 銅パイプ鋳込みアルミ板製造条件の確立（実施：株式会社クリスタルコート、有限会社FIT）

本研究開発では、アルミ溶湯を鋳型に注ぎ、直ちに急速空冷してパイプを鋳込んだ板を製造する方法を確立することを目標としている。

このためには溶湯の温度は低い方が冷却は容易になるが、低過ぎると銅パイプとの接合が不十分となる可能性も高くなるので、アルミ溶湯の組成に最適な温度について検討した。

さらにはアルミ溶湯を鋳込むカーボン鋳型の温度についても最適条件を検討するが、この温度についてはアルミ溶湯の温度との相関があるので、両者の相関関係を明確にするため株式会社クリスタルコートと有限会社FITは共同して開発を実施した。

直径8mmの銅パイプを鋳込んだ幅1300mm、奥行250mm、高さ20mmのアルミ鋳物板の試作に成功した。

試作板の内部では銅パイプがアルミ板中に鋳込まれており、銅パイプとアルミ合金との接触界面近傍においても介在物が少なく、良好な鋳込み板であることが確認された。

(4) 銅パイプ鑄込みアルミ板の評価に関する研究 (実施：国立大学法人山梨大学、
株式会社クリスタルコート)

試作した銅パイプ鑄込みアルミ板については内部構造、機械的強度などについて評価を行った。

・製品の形状

開発した製品は集光型太陽電池用冷却板としての利用を想定しているが現段階での必要寸法は下記のとおりであり、当面は当該製品の製法開発に注力する。

横幅：1238mm、奥行き：196mm、高さ：30mmのアルミ鑄造板の長さ方向に、外形8mm、肉厚1mmの銅パイプを4本鑄込んだ製品の製造方法を確立する。

・製品の製造時間

上述の製品を製造するのに要する時間の目標を1時間以内とする。

この時間内で繰り返し連続生産が可能なシステムを構築する。

本研究開発によって得られた耐酸化性薄膜の評価を行った。

XPS分析法により薄膜を形成している組織の組成、スクラッチ法による薄膜の機械的強度測定などを行い、最適な薄膜形成法について検討した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

機関名	所在地	所属部署・役職・ 担当者氏名・連絡先
株式会社クリスタルコート	〒403-0001 山梨県北杜市小淵沢町 9633番地	所属部署： 役職：代表取締役 担当者氏名：進藤 勇 TEL：0551-20-5360 E-mail：isamu@crystalsys.co.jp
有限会社FIT	〒408-0044 山梨県北杜市小淵沢町 8079番地	所属部署： 役職：専務取締役 担当者氏名：進藤 卓 TEL：0551-36-8070 E-mail：qqt76yh9k@helen.ocn.ne.jp
国立大学法人山梨大学	〒400-8511 山梨県甲府市武田四丁目3 番11号	所属部署：大学院医学工学総合研究部 役職：准教授 担当者氏名：佐藤哲也 TEL：055-220-8627 E-mail：Tetsu-sato@yamanashi.ac.jp
特定非営利活動法人 ものづくり支援機構	〒403-0004 山梨県富士吉田市下吉田 四丁目15番10号	所属部署： 役職：事務局長 担当者氏名：羽田功一 TEL：0555-23-4780 E-mail：kouichi.h@npo-mono.jp

第2章 本論

2-1. 開放式耐酸化性カーボン鋳型の試作（実施：株式会社クリスタルコート）

カーボンは大気中で 400～500℃を超える温度域から酸化が進む。

本研究で使用するカーボン製鋳型に流し込むアルミ溶湯の温度は約 700℃～800℃に達すると想定されるので鋳型表面には耐酸化性に富んだ塗膜を形成されていることが望ましい。

他方、アルミ溶解、鋳込みの各作業を窒素雰囲気下で行うと上述の酸化の影響を抑止できるのでカーボン鋳型の耐酸化性は考慮する必然性が無くなることになる。

しかしながら、本研究開発においては最終的に工業的生産ラインを構成した際の製造コストを極限まで低減させながら高品質品の製造条件確立を目指しており、当面は耐酸化性薄膜形成条件の確立研究を平行して進めることとした。

カーボンの耐酸化処理法については既に工業的に実施されている方法であり、アルミ鋳物産業においてもアルミ溶解炉で使用するカーボンルツボについては耐酸化処理が通常に行われていて専門業者も存在している。

しかしながら、本研究開発で予定している鋳型のサイズが横幅 20cm、長さ 120cm 程度と大型であり、既存の表面処理業者では直ちに対応が困難とのことであった。

さらには表面処理が必要になった際には毎回、専門業者に表面処理を依頼するのでは極めて非効率となる恐れがある。

そこで本研究開発で使用する鋳型に簡単な現場作業で対応可能な最適な耐酸化処理法を独自に開発することとした。

従来、カーボン材表面の耐酸化処理法としては多くの論文、特許が成立しているが基本技術は既に公知であり、酸化ケイ素微粉末もしくは炭化ケイ素を含浸させる方法、リン酸カルシウム溶液中でリン酸およびカルシウム成分を含浸させる方法、さらには酸化ジルコニウム成分を含浸させる方法などが知られている。

酸化ジルコニウムを含浸させる方法は最も耐酸化温度が高く 1000℃を超える高温領域でも安定した使用が可能になる方法とされているが本研究開発において鋳造温度はせいぜい 800℃程度以下であると予測されるので、この温度範囲で有効的に耐酸化性を保持し処理に係る経費も安価に済むと予測されるリン酸カルシウム液を用いた浸漬法を主体にこれに酸化ケイ素の微粉末を加えて耐酸化性を長時間、維持できる方法について検討した。

本研究開発の結果、耐酸化性薄膜形成用処理液としては 0.1N 硝酸水溶液に 2Wt%のリン酸カルシウム、2wt%の酸化ケイ素を加えた組成が最適でありカーボン鋳型を 10 回、以上使用可能であることが判った。

- ・この溶液は希薄溶液であり、塗膜は非常に薄いがアルミニウム溶解物に対する酸化防止膜には有望であると推定された。
- ・更に非常に薄い膜のため鋳型の形状を忠実に転写可能であった。
- ・塗膜製造工程の最適水準は（150℃ x 2h の材料前処理、～常温浸漬 1 時間～硬化温度 150℃ x 2 時間）と推定された。

2-2. 連続作業用窒素雰囲気制御装置の試作（実施：有限会社FIT）

アルミ溶湯は空気中では空気と反応して酸化物が形成され、これが製品中に混入すると冷却性能を劣化させる恐れが強いので、本研究開発においてはアルミ合金の溶解、鋳型の加温、アルミ溶湯の鋳型への注入のすべての作業を窒素雰囲気下で行えるように連続作業用窒素雰囲気処理装置を試作して今回の銅パイプ鋳込みアルミ板製造試験を窒素雰囲気下で行える装置を試作した。試作した装置の概念図は図 2-1 の通りである。

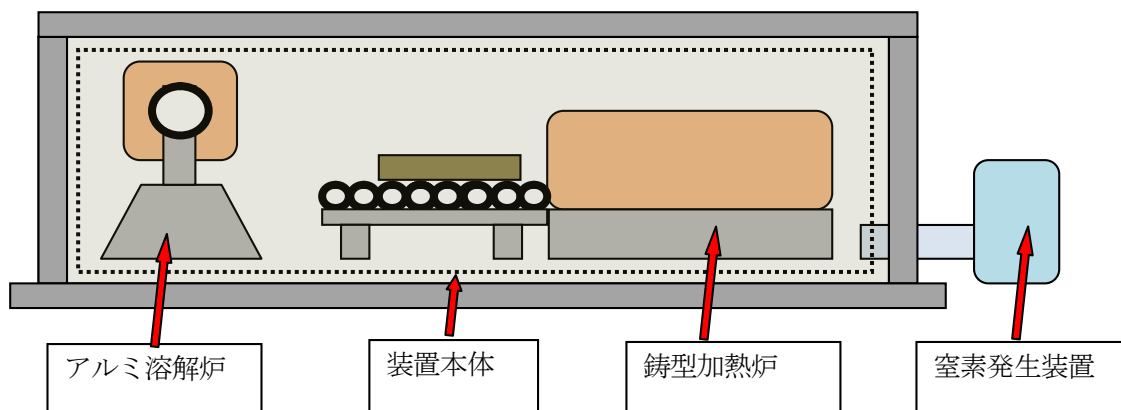


図 2-1 連続作業用窒素雰囲気制御装置の概念図
 アルミ溶解、鋳型の予熱、鋳造の各工程を連続して窒素雰囲気下で行える構成となっている。



図 2-2 アルミ溶解炉の外観。
 処理量： 50kg

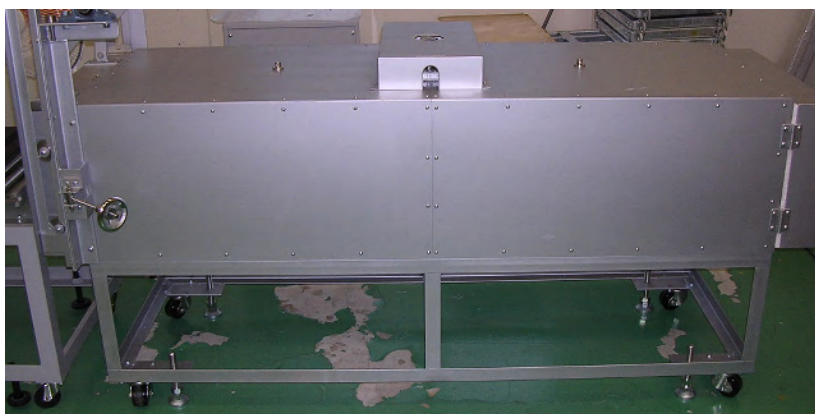


図 2-3 大型カーボン鋳型保温炉
 炉内寸法； 幅 1500mm 奥行 250mm 高さ 400mm



図 2-4 大型カーボン鋳型に銅パイプをセットした様子。
 ここにアルミ溶湯を注入し、直ちに急速空冷する。

図 2-2 アルミ溶解炉の外観
 前方は箱型の鋳型加熱炉

2-3. 銅パイプ鑄込みアルミ板製造条件の確立 (実施：株式会社クリスタルコート、(有)F I T)

* 処理剤の鑄型表面への塗布方法について

耐酸化性被膜形成法としては処理液中にカーボン鑄型全体を浸漬する方法と刷毛塗り法について比較検討した。浸漬法では鑄型が大型になると処理槽も大型になり、作業性が悪くなること、あるいは鑄型内部に処理液を満たして一定時間経過後、捨てる方法も検討したが鑄物製造作業現場で処理液を注入もしくは空けて捨てるなどの作業は厄介なので、刷毛塗り法で所定の耐酸化性と機械的強度が得られれば作業性は最も良好となる。

3 実験結果

1) 大型カーボン鑄型を使用した大型銅パイプ鑄込みアルミ板製造実験

小型カーボン鑄型を用いた銅パイプ鑄込みアルミ板製造実験の結果を踏まえて、本研究開発で目標としている大型銅パイプ鑄込みアルミ板製造実験を実施した。

アルミ溶湯温度、鑄型温度、雰囲気などを変動させて鑄物製造を実施しながら最適製造条件の確立を目指した。

鑄物製造実験条件

(ア) 使用したアルミ合金： J I S - A C 3 A

(イ) カーボン鑄型

表面に耐酸化性薄膜を形成させる処理液を刷毛塗りしたものを使用。

サイズ：奥行き：1, 236 mm、横幅：196 mm、高さ：30 mm

(ウ) 銅パイプ

外径：8mm 肉厚：1mm の普通品を使用

(エ) 雰囲気：

連続作業用窒素雰囲気処理装置を使用した窒素雰囲気中および連続作業用連続作業用窒素雰囲気処理装置の内部を窒素雰囲気にせず、空気のまま実施。

(オ) 銅パイプのセット方法

銅パイプを予め鑄型にセットしてからアルミ溶湯を注入する方法と鑄型にアルミ溶湯を必要量満たし、ここに後から銅パイプを挿入して全体を固化させる方法を検討した。

2) 実験結果

試作品の写真を図 2-5 に示す。上側は表面、下側は裏面を示す。

実際の使用場面では裏面に太陽電池基板を貼り付けて使用することを想定している。従って表面は特に後加工をせずにそのまま使用する。裏面はシリコン太陽電池基板を貼り付けるので平面である必要があるが特に後加工をせずにそのまま貼り付けることを想定した表面状態を目標とした。



図 2-5 試作された銅パイプ鑄込みアルミ板

図 2-5 に示す試作品では後述する通気テストおよび断面観察の結果からも銅パイプが完全に
鑄込まれており、目標としていた高性能アルミ冷却板が試作できたと判断した。

2-4. 銅パイプ鑄込みアルミ板の評価に関する研究 (実施：国立大学法人山梨大学、株式会社 クリスタルコート)

本研究開発においてカーボン鑄型の表面に形成された耐酸化性薄膜、および試作された銅パイプ
鑄込みアルミ板について以下の各項目について評価を実施し、最適製造条件の確立を図った。

1) 通気テスト

試作された銅パイプ鑄込みアルミ板についてはそれぞれの銅パイプに空気を吹き込み、反対側
の出口にホーズを繋いで水中に入れ、泡の発生の様子で通気を確認した。

この段階で通気の無いパイプは完全に溶けてしまっていることを示しているが通気は確認さ
れたが後の段階で切断して内部の様子を確認した段階でパイプが一部分 溶解してしまっている
ものも確認された。



図 2-6 銅パイプ鑄込みアルミ板について銅パイプの通気性を検査している様子
銅パイプに空気を流し、反対側からパイプを水中に流して泡の発生状態で通気性を確
認した。

2) 銅パイプの鑄込み状況とアルミ合金との界面

試作された銅パイプ鑄込みアルミ板については通気テストを行い、銅パイプの鑄込まれた状況
について調べた。

次に、試作された銅パイプ鑄込みある板の中心部近傍で切断、実際に銅パイプの鑄込まれた状
況、および銅パイプとアルミ合金との界面の状況について観察した。



図 2-7 試作した銅パイプ鑄込みアルミ板の断面の様子

3) カーボン鑄型表面に形成された耐酸化性薄膜の組成、組織に関する評価

カーボン製鑄型の表面には耐酸化性薄膜を形成させ空気中でも繰り返し使用を可能とした。製
膜された薄膜の組成はX線光電子分光スペクトル (XPS) を測定し、元素組成を求めた。得ら
れた測定値は概ね処理液の組成比を反映しており、目標とした薄膜が形成されていると判断され
た。

表 2-1 XPSより算出した表面の組成比 (単位: atomic %)
(Mg 光源、JEOL JPS-9200)

Sample No.	C 1s	Ca 2p	O 1s	P 2p	Si 2p	Total
27-31	30.8	2.3	35.2	1.0	30.6	100
27-32	30.3	2.7	35.7	1.4	29.9	100
27-33	31.5	1.9	38.0	0.5	28.1	100
27-34	25.3	5.0	37.2	5.8	26.8	100

第3章 全体総括

本研究開発は伝統的な手法であるアルミ鋳物製造法を利用し、安価で高性能な大型冷却板の製造方法を確立して集光型太陽電池用などとして需要が拡大している市場に投入し日本の関連産業の発展に寄与しようとしている。

銅パイプを鋳込んだアルミ板の製造は一見、単純で簡単に実行可能とも思われがちであるが実際には様々な要因があり通常の業務としては行われていないのが実情である。

製品は長さ150cmに達する比較的鋳物としては大型の部品でありこのような大型の製品を製造可能な企業は限られているのが実情である。

本研究開発で進めている方法はこのような大型の製品を比較的簡単なシステムで製造可能とする方法であり、また高品質アルミ鋳物を製造する上で大きな問題とされる酸化物の存在を抑制しながら連続作業を実施可能な新しいシステムを構築した。

— 成果 —

- ・ 幅1300mm, 奥行300mmに達する大型の銅パイプ鋳込みアルミ冷却板製造方法を確立した。
- ・ 大型のカーボン製鋳型の表面に耐酸化性薄膜を現場で容易に製膜する手法を確立し、カーボン鋳型を繰返し使用可能としてコスト削減を実現した。

— 事業化に向けての取り組み —

銅パイプを鋳込んだアルミ鋳物板の市場は本研究開発で目標とした太陽光発電業界以外にも様々な用途があるが従来法であるVプロセス法ではコスト的に割高とされ市場開拓が遅れていた分野である。本研究開発で得られた急速空冷鋳造法による銅パイプ鋳込みアルミ板製造方法は小さなサイズの製品から大型のサイズ品まで対応が可能な方法であり、カーボン製鋳型は繰返し使用が可能となったことでコスト的にも極めて優位である。

本研究開発ではカーボン鋳型に銅パイプをセットしてアルミ溶湯を注入、急速固化する方法とカーボン鋳型で合金を融解し、ここに銅パイプを挿入する手法について検討し後者の方法で良好な製品が製造可能であることを実証した。事業化に向けてはさらなるコスト低減と作業性の向上を図るため鋳型にアルミ溶湯を注入し、ここに銅パイプを挿入して急速固化させる手法についても安定的に製造できる条件を確立することにより早期の事業化を目指す。

図面番号

- 1-1 集光式太陽電池の模式図
- 1-2 冷却板にシリコン太陽電池を張り付けた模式図
- 1-3 アルミニウムと銅 2成分系の状態図。
- 1-4 通常の砂型鑄造法で銅パイプ鑄込みアルミ板を製造する場合の模式図
- 1-5 V-プロセス砂型鑄造法による銅パイプ鑄込みアルミ板製造法の概念図
- 1-6 急速空冷鑄造法によりイブ鑄込み板を製造する工程の模式図
- 2-1. 連続作業用窒素雰囲気制御装置の概念図
- 2-2 2-2 アルミ溶解炉の外観
- 2-3 大型カーボン鑄型保温炉
- 2-4 2-4 大型カーボン鑄型に銅パイプをセットした様子。
- 2-5. 試作された銅パイプ鑄込みアルミ板
- 2-6 試作した銅パイプ鑄込みアルミ板の断面の様子

表

- 1-1 各種材料の 20℃における熱伝導率 単位：(W/m⁻¹/K⁻¹)
- 1-2 合金鑄型剤とカーボン（グラファイト）材の特性
- 2-1 X P Sより算出した表面の組成比 （単位：atomic %）