# 平成23年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「ミストコントロール冷却による低歪み熱処理技術の開発」

# 研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者:経済産業省近畿経済産業局 委託先:学校法人関西大学

	<u>بر</u> ر
Ħ	八

第1章	研究開発の概要	
1-1	研究開発の背景・研究目的および目標	P1
1-2	研究体制	P2
(研究	『組織・管理体制、研究者氏名、アドバイザー)	
1-3	成果概要	P6
1-4	当該研究開発の連絡窓口	P7
第2章	本論	
2-1	噴霧法による鉄鋼材料の焼入れ特性に関する基礎的研究	
2-1-1	はじめに	P8
2-1-2	実験試料および実験方法	P9
2-1	-2-1 実験試料	
2-1	-2-2 実験装置および実験方法	
2-1-3	実験結果および考察	P10
2-1	-3-1 水滴の粒径測定	
2-1	-3-2 一端焼入れ処理	
2-1	-3-3 4 方向同時焼入れ処理	
2-1-4	総括	P16
2-2	ミスト噴霧冷却法の基礎的研究(1)	
2-2-1	ミスト冷却装置の検討	P17
2-2	2-1-1 ミスト噴霧機構の検討	
2-2	2-1-2 1 流体ノズルと 2 流体ノズルの比較検討	
2-2-2	ミスト冷却装置の製作	P18
2-2	2-2-1 ミスト噴霧機構の設計	
2	2-2-2-1-1 実験方法	
2	2-2-2-1-2 実験条件	
2	2-2-2-1-3 実験結果	
2-2	2-2-2 ミスト冷却装置の設計	
2-2	2-2-3 ミスト冷却装置の基本性能	
2-2-3	ミスト噴霧冷媒の検討	P36
2-3	ミスト噴霧冷却法の基礎的研究(2)	
2-3-1	加熱装置の製作	P38
2-3	-1-1 加熱装置の設計	
2-3	-1-2 加熱装置の試運転	
2-3-2	低焼入れ性材料へのミスト冷却効果の検証	P51
2-3	9-2-1 油冷却	
2-3	-2-2 ガス冷却	
2-3	-2-3 ミスト冷却	
2	2-3-2-3-1 着色試験条件	
2	2-3-2-3-2 低焼入れ性材料ミスト冷却試験条件	

2-3-	2-3-3 着色試験結果	
2-3-	2-3-4 低焼入れ性材料ミスト冷却試験結果	
2-3-3	ミスト噴霧冷媒の検討	P62
2-3-4	ミスト挙動の予測	P63
2-3-4-	1 ミスト挙動予測における試験条件	
2-3-4-2	2 ミスト挙動予測における試験結果	
2-4 Ξ	スト噴霧冷却法の基礎的研究(3)	
2-4-1	ミスト噴霧冷却効果の実証	P65
2-4-1-	1 ミスト噴霧冷却実証炉の調整	
2-4-1-2	2 噴霧結果による考察	
2-4-2	ミスト冷却シミュレーション	P69
2-4-2-	1 2 室測温方法の検討、及び実証	
2-4-2-2	2 冷却曲線結果	
2-4-2-	3 冷却シミュレーション	
2-4-2-	4 冷却シミュレーション結果による考察	
2-4-3	冷却コントロールにおける測温検討	P77
2-4-3-	1 サンプル温度の非接触温度測定	
2-4-3-2	2 冷却コントロールにおける測温の考察	
2-5 E	スト噴霧冷却実証炉の冷却特性	
2-5-1	焼入れ処理法と冷却能および急冷度	P80
2-5-2	鉄鋼材料の焼入れの基本	P80
2-5-3	ミスト冷却実証炉の性能	P81
2-5-4	SCM435 材のミスト冷却特性の基礎的調査	P83
2-5-5	実機運転を想定した時のミスト冷却特性の基礎的調査	P84
2-5-6	焼割れの発生とその場所	P86
2-5-7	ミスト冷却室の概略	P87
2-5-8	上下のノズルを変更させた時の冷却特性	P89
2-5-9	ノズルの選択と噴霧時間の調整	P93
2-5-10	SCM435 材 20×200 試料の「変形度」測定試験	P99
2-5-11	冷却用送水管内の空気抜き弁取り付けとその効果	P101
2-5-12	SCM435 材 20×200 試料の焼入れ特性試験方法	P101
2-5-13	ミスト噴霧冷却特性におよぼす冷却室内の圧力と噴霧水圧の関係	P102
2-5-13	-1 焼入れ硬さにおよぼす噴霧水圧の影響	
2-5-13	-2 焼入れ後の変形度(振れ)におよぼす噴霧水圧の影響	
2-5-14	SCM435 20×200 試料のミストの噴霧条件と焼入性	P103
2-5-15	汎用無酸化雰囲気炉および真空加熱処理炉による冷却特性	P106
2-5-15	-1 無酸化雰囲気加熱後油焼入れ	
2-5-15		<b>.</b>
2-5-16	SUJ-2 材のミスト冷却特性	P107
2-5-17	SKH-51 材のミスト冷却特性	P108

最終章( 全体総括 )	
研究成果について	P109
今後の課題と事業化展開について	P110
	最終章(全体総括) 研究成果について 今後の課題と事業化展開について

# 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

・研究開発の背景・目的

金属材料の高機能化法として熱処理法があげられる。熱処理の基本は、金属材料を高温に加 熱することと、これを冷却することである。なかでも冷却の過程は、金属材料の高性能化にと って重要な要因である。本研究は、この冷却過程をミスト噴霧によりコントロールし、高性能 金属材料を得ることを目的としている。

・研究開発の目標

八田工業㈱は熱処理における低歪化を追求しており、現状の歪の低減率は約20%を達成して いるが、多様なユーザーのニーズに応えるには、更なる低減が緊急の課題である。この課題を 解決するためにミスト冷却技術を開発している㈱社 IHI 機械システム、学校法人関西大学と共 同で新しい冷却剤、冷却工法、冷却装置の開発をすることにより歪の半減化を目指す。

今回の技術は、大気中ではなく圧力容器中で液循環を行い、かつこの冷却法の処理材表面の 可視化が可能である点を生かして、急冷領域に於ける冷却コントロール技術を確立させること が特徴である。ミスト冷却は気化潜熱を利用した冷却のため、油冷却の沸騰段階と同等の能力 が期待できる。このミスト冷却システムの構築には、液化タンクから液体ポンプにより送られ た液をミスト化する。そのミストを加熱した処理品に吹き当て、処理品から熱を奪いミストが 気化する。気化した物を熱交換器等で凝縮させ、液化タンクに収納する循環機構を構築し、検 証可能な装置形態にする。課題は凝縮メカニズムを明確化する事である。この点は、伝熱工学 資料に基づく理論計算により熱交換器の伝熱面の表面積を見極め、実験により効率を見極める。 このミスト冷却装置の検討を行い、ミスト冷却室システムを具現化することを目的とする。

ミスト噴霧機構、噴霧冷媒についても検討を行い、冷却装置の設計・製造・試運転を行う。 加熱室と搬送装置を冷却室に付加することで、実際に流通している処理品で検証可能な処理能 力の設備を製作し、低焼入れ性材料へのミスト冷却効果を検証することを開発目標とする。ミ スト冷却は、ミスト密度の調整により冷却能力の自由度があり、また表面温度の測定が可能に なるので、この温度をトリガ - として冷却コントロ - ルを行うことが出来る。実用化のために は温度計測技術の構築が必要となる。

ミスト冷却に関しては、ミストの吹き位置や吹き方などの最適値を得るためのテストを行う。 テストは基本処理材による冷却形態を見極める方法と実際に流通している処理品を利用する方 法の2通り行う。有効性の検証方法は基本処理材による冷却速度分布を測定し、より有効な条 件を導き出す。学術部門からのアウトプットは基本冷却パタ - ンに関して、例えば吐出量をパ ラメ - タとして数種類の冷却曲線を採取し、逆計算法により熱伝達率を同定する。この結果に より、吐出量と熱伝達率の関係線を導くなどにより、今後の冷却シミュレ - ションのノウハウ を蓄積する。

また、可視化による冷却メカニズムの検証も試みる。冷媒に関しては水を基本とするが、水 の条件に近い不活性な液体を数種類抽出し、同様の実験を試みる。処理材内 / 処理材間に温度 分布の発生した場合の改良方法として、パルス冷却法により、ソルトバスに近いマルクエンチ も検証する。逆計算法より導かれた熱伝導率を用い、時間毎に熱伝達率を変化させることでパ ルス冷却法のシミュレーションも行う。 1-2 研究体制(研究組織・研究管理体制、研究者氏名、アドバイザー)

研究組織・管理体制

1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

業務管理法人 [学校法人関西大学]



再委託先

[八田工業株式会社]

取締役社長——	───総務部───経理課(経理担当)		
	──製造部──製造課──熱処理グループ(研究員)		
	──技術部───技術課(研究員)		

[株式会社 IHI 機械システム]

3) 研究者氏名

【事業管理者】 学校法人関西大学

研究員

氏名	所属・役職		実施内容
赤松 勝也 西本 明生	先端科学技術推進機構 研究員 化学生命工学部化学・物質工学科	准教授	・低焼入れ性材料へのミスト 冷却効果の検証 ・冷却コントロールの検討

# プロジェクト管理員

氏名	所属・役職	実施内容
石川 正司	先端科学技術推進機構長	
島貫 未来夫	学長室社会連携グループ長	
山田恭子	財務課長	
浦田 和之	学長室社会連携グループ グループ長補佐	・プロジェクトの管理・運営
熊澤 佳織	学長室社会連携グループ	
八尾 聡美	学長室社会連携グループ	
北憲祐	学長室社会連携グループ	

【再委託先】

八田工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
隅谷 賢三	専務取締役	
森川 経夫	技術部 部長	・低時)わけお約々のミフト
徳山 信吉	製造部 部長	冷却効果の検証
八木 勲	技術部 顧問	・ミスト冷却のシミュレーシ
前久保光弘	製造部	ョン
梅田浩二	製造部	
青木 辰之	技術部	

株式会社 IHI 機械システム

氏名	所属・役職	実施内容
勝俣 和彦 井上 純治 永田 喬裕	技術部 標準機種グループ 部長 技術部 標準機種グループ 技術部 標準機種グループ	・低焼入れ性材料へのミスト 冷却効果の検証 ・ミスト冷却のシミュレーシ
嶋田 嵩久	技術部 標準機種グループ	・冷却コントロールの検討

アドバイザー(任意)

機関名	所属・役職	氏名
国立大学法人宇都宮大学	工学研究部・准教授	奈良崎道治
学校法人智香寺学園 埼玉工業大学	工学部・教授	巨東英
国立大学法人大阪大学	接合科学研究所・教授	中田一博
国立大学法人京都大学	工学研究科材料工学専攻 教授	落合庄治郎
大阪府立産業技術総合研究所	材料技術部・主任研究員	水越朋之
独立行政法人 科学技術振興機構	技術参事 科学技術コーディネータ	石神逸男
公立大学法人大阪府立大学	マテリアル工学分野・助教	千星聡

山四柱砂制细灶子入汁	研究・開発センター		
山陝村外殺劑休式云社	軸受・構造用 G 主任研究員	膝仙风丈	
	電子製品事業部	<i>4 万 </i>	
住友スリ・エム株式会社	マネージャー	新久馬 	
口立白動主性子人社	パワートレイン生産技術本部	合已括	
口座日動単株式会社	工法開発グループ・主担	计座倍	
株式会社日本アルミ	技術開発部・担当部長	伊藤清文	
ホンダエンジニアリング株式会	パワートレイン研究開発部		
社	技術主任 1Kブロック	~ 猿山将臣	
㈱恵美須屋工具製作所	取締役・製造本部長	栗野實	
光洋機械工業㈱	工作機械事業部長・理事	宮邊直樹	
(株)シマノ	生産技術部・部長	大津智弘	
日本精工(株)	石部工場・管理課	大島一浩	
(株)ベツセル福知山	技術課・課長	塩見靖司	
和伸工業㈱	取締役・営業部長	三輪康二	
三谷伸銅㈱	技術部 品質保証課・課長	満留剛	

1-3 成果概要

現在、焼入設備に求められている能力は、油冷却とガス冷却の利点を併せ持ち、さらに低歪 焼入れのため被処理品の内部温度をほぼ等温に冷却する方法であると考えられる。これらの条 件を満たし、かつ環境やコスト面にも配慮した新たな冷却方法として、ミスト冷却法を用いる こととした。

ミスト冷却は、被処理品に冷媒をミスト噴霧する冷却法である。焼入冷却の3段階のうち、 沸騰段階において冷却速度がもっとも大きくなる。ミスト冷却は、この沸騰段階においても処 理品表面を常に濡れた状態にすることによって高い冷却性能を持つことになる。

ミスト冷却の特徴として、 潜熱を利用した高い冷却性能、 噴霧量制御による自由な冷却 コントロール、 危険作業が最小限、 装備、ランニングコストが安価という点が挙げられる。

初年度は、ミスト冷却装置の検討(ミスト噴霧機構の検討、冷却装置の基本構造の決定)、ミスト冷却装置の製作(ミスト冷却装置の設計・製造、試運転)、ミスト噴霧冷媒の検討(ミスト 噴霧冷媒の選定)を行った。

二年目は、加熱装置(真空炉)を作成(加熱装置の設計・製造・試運転)し、ミスト冷却装置と加 熱装置(真空炉)を組み合わせ、熱処理用装置として完成し、真空加熱(焼入・焼戻)とミスト冷却 を一体で行い、低焼入れ性材料へのミスト冷却効果の検証(冷却品質の高度化)、ミスト噴霧冷媒 の検討(ミスト噴霧冷媒の選定)、ミスト挙動の予測(ミスト挙動の試験・予測)を行った

最終年度は、昨年度に引き続き、低焼入れ性材料へのミスト冷却効果の検証を中心に、熱電 対を用いた加熱装置・冷却装置の2室にわたる温度測定を連続して行い、熱伝導率を同定させ、 冷却中の処理品の中心温度を測定しながら冷却シミュレーションを行った。また、冷却コンン トロールの検討のため、ミスト冷却中の処理品温度を、非接触温度計を用いて常時把握しなが ら、短時間で測定誤差の少ない測定方法を見出すことにした。

一方加熱装置から冷却装置に搬送された各種試料および製品について、ミストを各種条件で 噴霧冷却させた。具体的には冷却剤として、純水と水道水を用いて噴霧した。

- (1) ノズルの取付けについて上方向、下方向およびそれらの取り付け角、数量、さらに冷却 する製品までの距離の調節
- (2) 噴霧水量と水圧について、その適量を調査
- (3) 冷却室内の圧力について、その適量を調査
- (4) 噴霧時間の調整

等を行った。それぞれの条件で冷却された試料およびいくつかの製品について硬さ測定と変形 度の測定を行い、ミスト冷却の有効性について検討した。 1-4 当該研究開発の連絡窓口

学校法人関西大学

 $\mp 564-8680$ 

大阪府吹田市山手町3-3-35

学長室社会連携グループ長 島貫 未来夫

TEL: 06-6368-1245 FAX: 06-6368-1247

## 第2章 本論

2-1 噴霧法による鉄鋼材料の焼入れ特性に関する基礎的研究

2-1-1 はじめに

鉄鋼材料における機能向上の熱処理法には焼入れ、焼戻し、焼鈍および焼ならし等がある。 これらのうち焼入れは鉄鋼材料を、A<sub>1</sub>~A<sub>3</sub> 変態点以上に加熱し、炭化物を固溶化させ、均一 なオーステナイト組織になるように十分な時間保持した後、急速に冷却し、マルテンサイト組 織に変態させ硬化させる熱処理方法である。

この焼入れ性の良し悪しは冷却段階がもっとも重要な要因であり、この冷却過程を制御する ことが重要といえる。

冷却方法には代表的な方法として液体冷却と気体冷却がある。液体冷却は冷却速度が高く焼 入性が良いという利点があるが、冷却媒体が沸騰し蒸気の膜が生じ、これによって焼ムラが生 じてしまうという欠点がある。

一方気体冷却は気体の対流によって冷却が行われるので焼ムラが低減するという利点を有す るが冷却速度が低いという欠点がある。これらの冷却方法のそれぞれの欠点を補い、双方の利 点を有した新しい冷却方法としてミスト冷却が挙げられる。ミスト冷却は任意の水量でミスト 状の冷却媒体を吹き付けるので蒸気の膜ができることはなく常に気化冷却によって焼入性が良 く、焼ムラも少ないという新しい熱処理技術である。

本研究ではミスト冷却による低ひずみ熱処理技術の開発を目的として、まず焼入性の評価の ために噴水形態を変化させたジョミニー試験を行った。次に4方向冷却試験装置を作製し、噴 水形態を変化させたミスト冷却実験を行いミスト冷却の有用性について検討することにした。

#### 2-1-2 実験試料および実験方法

#### 2-1-2-1 実験試料

ー端焼入れ試験を施す試料には軸受け鋼 SUJ2材および炭素工具鋼SK3材を用いた。 いずれの資料も約1%の炭素を固溶してお り1118Kでオーステナイト相に変化する。

本研究の一端焼入れ試験においてはこれ らの丸棒の資料をJIS のジョミニー試験の 規格である長さ 100mm、Φ25mm に加工 した。また、4方向同時焼入れ試験において は丸棒を高さ 20mm になるように切断し、 さらに幅を 20mm にし、かつ平面を出すた めに側面を切削した。一端焼入れ試験を施 す試料の形状および寸法を図 2.1.1(a) に、 また 4 方向同時焼入れ試験を施す試料の形 状および寸法を図 2.1.1(b) に示す。



2-1-2-2 実験試料および実験方法

(1) 一端焼入れ試験

ー端焼入れ試験として、JIS 規格で定められているジョミニー試験を行った。試料の焼入 れ性を評価する目的で、加熱した試料を装置の上部から装入し、下方から水を流し下部の穴 の部分のみを焼入れする装置を作成した。図 2.1.2 に一端焼入れ試験装置の概略図を示す。

ー端焼入れ試験は資料を目的の形状に加工した後、あらかじめ 1118K に設定しておいた炉 内に入れ、1.8ks 間保持した。水は試料を上部の穴から設置する前に、間隔が 65mm の高さ に達するようにあらかじめ噴水量を設定しておきシャッターで塞いでおいた。加熱炉から取 り出した試料は 5s 以内に焼入れ試験装置に設置し、シャッターを外して、0.6ks 間一端焼入 れを行った。焼入れ性を比較するために通常の噴水形態でも一端焼入れ試験を行った。さら に一端焼入れ試験における、噴水形態をシャワー状の噴水形態およびミスト状の噴水形態に 変化させた。



(2)4方向同時焼入れ

ミスト噴霧冷却の有効性を調査する目的で、4方向から同時に焼入れできる試験装置を作製 した。図 2.1.3 に 4方向同時焼入れ試験装置の概略図を示す。

4方向同時焼入れ試験は一端焼入れと同様に、試料を目的の形状に加工した後、1118K に設定している炉内に入れ、1.8ks 保持した。加熱炉から試料を 5s 以内に試験装置に装入し、0.6ks 間水をかけ焼入れを行った。4 方向焼入れ試験における噴水形態をシャワー状、ミスト状およびさらに微細なミスト状の形態に変化させて実験を行った。



図 2.1.3 4 方向同時焼入れ試験装置の概略

(3) 水滴の粒径測定

水滴の粒径による焼入れの影響を調査する目的で、水滴の粒径を測定した。測定方法 は水滴をガラス製のスリットに噴きかけた後、光学顕微鏡を用い、ガラスに噴きかけた 水滴を半球状であると見なし、それから水滴の直径を求めた。

(4) 組織観察

焼入れ試験後の試料の断面組織を調べた。一端焼入れ試験においては、側面を 0.2mm けずり、鏡面にまで仕上げた。4 方向同時焼入れ試験においても焼入れを施した試料面の 中心線に沿って半分に切断後、樹脂に埋め込み、鏡面にまで研磨した。その後、5%ナイ タール溶液を用いて腐食し断面組織観察を行った。

(5) 硬さ試験

ー端焼入れ試験および 4 方向同時焼入れ試験後の試料の断面の硬さ分布を調べる目的 で硬さを測定した。試験は端部から試料内部にかけて、まず 1.5mm 間隔で 3 ~ 7.5mm まで測定し、その後は2mm 間隔で15mm まで測定し、15mm からは5mm間隔で50mm まで測定した。

## 2-1-3 実験結果および考察

2-1-3-1 水滴の粒径測定

ノズルの形態が冷却特性におよぼす影響を調査する目的で、実験に用いた噴水形態で ある、シャワー、ミストおよび微細ミストの水滴観察から粒径を算出し、噴水形態の違 いによる影響を検討した。図 2.1.4 に 4 方向同時冷却試験に用いた噴水の量、シャワー 状の噴水形態、ミスト状の噴水形態および水滴の形状、粒径観察の結果を示す。実験に 用いた水量はシャワー状の噴水形態では 8L/min、ミスト状の噴水形態では 2L/min、 微細ミストの噴水形態では 0.3 L/min であった。

これらの実験から各種水滴を半球状と見なして、その直径から水滴の体積を算出し、 その体積から大気中で球状であると見なした時の水滴の直径を算出した。水滴の形状を 観察した結果、シャワー状の噴水形態の水滴は 1000 ~1500µm でもっとも大きく、微細 ミスト状の噴水形態の水滴の大きさは 20 ~120µm でもっとも小さいことがわかった。



図 2.1.4 各種ノズルの形態と噴射される水滴の大きさの関係

2.1.3.2 一端焼入れ処理

(1) 外観観察

噴水形態を変化させて行った一端焼入 れ処理後の軸受鋼 SUJ2 材および炭素工 具鋼 SK3 材について焼入れ試験前後の外 観の変化を調査した。通常の噴水形態、噴 水の形態をシャワー状およびミスト状に変化 させて行った試験後の外観観察の結果を図 2.1.5 に示す。外観観察の結果、通常の噴 水形態で焼入れ処理を施した試料では若 干変形が認められる。しかし、噴水形態 をシャワー状およびミスト状に変化させて 行った焼入れ試験では試料の変形は観察 できなかった。



図 2.1.5 焼入れ試験後の試料の外観.

(2) 組織観察

噴水形態の違いによる焼入れ性の評価を行う目的で、通常の噴水形態、噴水の形態を シャワー状およびミスト状に変化させて一端焼入れ試験を施した SUJ2 材および SK3 材 の組織観察を行った。その結果を図 2.1.6 に示す。

SUJ2 材および SK3 材の焼入れ端部付近には、マルテンサイト組織が観察され、SUJ2 材および SK3 材は一端焼入れ試験が成功していることがわかった。

		Distance from quenching end					
		0 mm	1 mm	3 mm	5 mm	10 mm	30 mm
	Hose						
8U.12	Shower						
	Mist						
81(3	Hose					د به رو بر به کرد بر به ک	
	Shower						
	Mist						

50µm

図 2.1.6

焼入れ試験後の試料の先端部の顕微鏡組織

(3) 硬さ試験

噴水の形態を通常の噴水状、シャワー状およびミスト状に変化させて行った一端焼入 れ試験後の SUJ2 材および SK3 材の焼入れ性および焼ムラを評価する目的で硬さ試験を 行った結果を図 2.1.7 および図 2.1.8 に示す。

SUJ2 材および SK3 材のいずれも、試料の焼入れ端部近傍の硬さはすべての噴水形態 において硬化しており、焼入れされていることが確認できた。また焼入性は SK3 材に比 べて SUJ2 材が良好な値を示した。また、噴水形態の違いによる焼入れ性は通常の噴水 形態でもっとも高く、ミスト状でもっとも低かった。これは図 2.1.4 に示すように冷却水 の量による差であろう。

さらに焼入れ端部近傍の噴水形態の違いによる硬さのばらつきは、いずれの試料におい ても ミスト状の噴水形態において低減していた。これはミストを噴霧することによって 蒸気膜が壊れるまでの時間が短くなったことにより、十分な冷却能力が得られ、かつ冷 却速度のムラが低減したためと考えられる。このことからミスト冷却は従来の冷却方法 に比べて、より少ない水量で、かつ焼ムラを低減させることができる冷却方法であると 云える。



### 2.1.3.3 4 方向同時焼入れ処理

(1) 外観観察

4 方向同時焼入れ試験に用いた SUJ2 材および SK3 材について噴水の形態をシャワー 状、ミスト状および微細ミスト状に変化させた時の冷却試験前後の外観観察の結果を図 2.1.9 に示す。外観観察の結果から噴水の形態を4方向同時からのシャワー状、ミスト状 および微細ミスト状に変化させた時の試料にはいちじるしい差異は認められなかった。



図 2.1.9 4 方向同時冷却試験を施した試料の外観

(2) 組織観察

噴水形態の違いによる焼入れ性の評価を行う目的で、噴水の形態をシャワー状、ミスト 状および微細ミスト状に変化させた4方向同時焼入れ試験を施したSUJ2材およびSK3 材について組織観察を行った結果を図2.1.10および図2.1.11に示す。組織観察の結果、 焼入れ端部近傍に黒色の層が見られた。またSUJ2材およびSK3材の焼入れ端部近傍か ら内部に向かうにつれてマルテンサイト組織が表れており、SUJ2材およびSK3材は4 方向同時焼入れ処理が成功していることがわかる。



#### (3) 硬さ試験

噴水の形態をシャワー状、ミスト状および微細ミスト状に変化させた 4 方向同時焼入 れ試験後の SUJ2 材および SK3 材の焼入性を評価する目的で硬さ試験を行った結果を図 2.1.12 ~ 2.1.17 に示す。4 方向同時焼入れ試験後の SUJ2 材および SK3 材の上部、右 側部および左側部の硬さにバラツキが生じた。これは試料固定具に上方から噴き付けた シャワーおよびミストの水滴が付着し、より大きな水滴として試料上面に滴下し、さら に左右側面を流れ落ちたため、冷却速度に変化が生じたと考えられる。図 2.1.12 および 図 2.1.15 に示すようにシャワー状の噴水形態において試料下部の硬さのバラツキが大き くなっていることは、側面から垂れた水滴が下方の噴水口に垂れ、噴水量に影響が出た ためであると思われる。ミスト状および微細ミスト状の噴水形態においては十分に硬化 しており、かつ焼ムラが低減していた。これは 4 方向から同時にミストを噴霧すること によって、装置全体にミストが充満し、蒸気膜段階が生成されている時間が短くなり十 分な冷却能力が得られ、かつ冷却速度のムラが低減されたためと考えられる。このこと からミストによる冷却方法は従来の冷却方法に比べて、より少ない水量でかつ焼ムラを 低減させることができる冷却方法であるといえる。





#### 2-1-4 総括

焼入れ時の冷却の際に冷却水の噴水形態を変化させることによって生じる焼入性への 影響を調査する目的で、噴水の形態をシャワー、ミストおよび微細ミストの3種類に変 化させた一端焼入れ試験および4方向同時焼入れ試験を施した軸受鋼SUJ2材および炭 素工具鋼SK3材について焼入れ後の外観観察、組織観察および硬さ試験を行った結果、 以下の事項が明らかになった。

- (1) 実験に用いた水量はシャワー状の噴水形態では 8L/min、ミスト状の噴水形態では 2 L/min および微細ミスト状の噴水形態では 0.3 L/min であった。また水滴の粒径 はシャワー状の噴水形態の水滴の粒径が 1000 ~1500 µm、ミスト状の噴水形態の 水滴の粒径が 80 ~700µm および微細ミスト状の噴水形態の水滴の粒径は 20 ~ 120µm であった。
- (2) 一端焼入れ試験を施した SUJ2 材および SK3 材の外観観察を行った結果、通常の噴水形態で一端焼入れ試験を施した試料は縦軸報告に少し変形していた。他の冷却方法ではいちじるしい変形は認められなかった。
- (3) 一端焼入れ試験を施した SUJ2 材および SK3 材の組織観察を行った結果、焼入れ端 部近傍はマルテンサイト組織となり、一端焼入れ法により硬化した。
- (4) 一端焼入れ試験を施した SUJ2 材および SK3 材の硬さ試験を行った結果、試料の焼入れ端部近傍はいずれの噴水形態においても焼入れができ、それらの焼入れ性は SK3 材に比べて SUJ2 材の方が良好であった。さらに焼入れ端部近傍の噴水形態の違いによる硬さのばらつきは、いずれの試料においてもミスト状の噴水形態において低減していた。このことからミスト冷却は従来の冷却方法に比べて、より少ない水量かつ焼ムラを低減させることができる冷却方法であるといえる。
- (5) 4 方向同時焼入れ試験において噴水形態の違いによる焼入れ性および焼ムラの評価 を行う目的で噴水の形態をシャワー状、ミスト状および微細ミスト状に変化させて焼 入れ試験を行った結果、SUJ2 材および SK3 材の焼入れ端部近傍にはマルテンサイト 組織が観察され端部を焼入れることができた。

2-2 ミスト噴霧冷却法の基礎的研究(1)

- 2-2-1 ミスト冷却装置の検討
- 2-2-1-1 ミスト噴霧機構の検討

ミストを噴霧して冷却を行うにあたり、ノズルとポンプを用いたミスト冷却システムを採用す ることに決定した。

ミスト噴霧機構に重要と考えられる条件を以下に挙げる。

(1)ミスト噴霧機構に最低限求められる条件

a.一般的な雨粒(1000µm程度)より液体粒径が小さいミストを発生できること b.装置内に大量(900 L/min)のミストを噴霧できる機構であること

- (2) ミスト噴霧機構に付加した方がよいと考えられる条件
  - c.ミスト噴霧量を随時、変更可能であること

d.ミスト粒径を変えることが可能であること

上記の a ~d を満たす方法として、図 2.2.1 に示すミスト噴霧機構を考案した。インバータ 制御されたポンプによって冷媒を引き上げ、ノズルに圧力を加えることでミストを噴霧する。 図 2.2.1 に提案した噴霧機構を採用することにより、次のことが可能となる。

一般的な雨粒(1000µm程度)より液体粒径が小さいミストを発生可能

ミスト発生用のノズルを用いることで、1000µm以下のミストを発生させることが可能となる。 装置内に大量(900 L/min)のミストを噴霧可能

ノズルを複数個設置し、大容量の冷媒ポンプを設けることで大量のミストが発生可能となる。

ミスト噴霧量を随時変更可能

インバータ制御された冷媒ポンプの回転数を変え、ノズルにかかる圧力を変化させるこ とで噴霧量を調整する。インバータにより制御を行うことで、冷媒ポンプの回転数が随時 変更可能となる。さらに将来的にはインバータと放射温度計を組み合わせることで、フィ ードバック制御系を構築することもできる。

ミスト粒径を変えることが可能

ミスト粒径は設置するノズルにより決まる。ノズルを変更することでミスト粒径を変える ことが可能となる。様々なミスト粒径について検証することを考慮し、ミスト粒径は「きり: 45µm 程度」~「雨粒:1000µm 程度」の範囲を目安とした。



図 2.2.1 ミスト噴霧機構概

2-2-1-2 1 流体 ノズルと 2 流体 ノズルの比較検討

表 2.2.1 に 1 流体ノズルと 2 流体の比較表を示す。なお、ここで扱う 1 流体ノズルと 2 流体 ノズルの定義は次の通りである。

1 流体ノズル:圧力をもって送られる液体が微粒化して噴霧されるノズル 2 流体ノズル:圧縮空気などの高速流体を利用して液体を微粒化するノズル

	1 流体ノズル	2 流体ノズル
大噴霧量		
微粒化性能		
噴霧量調整範囲		
冷却室圧力制御性		(噴霧量大きいほど難あり)

表 2.2.1 1 流体ノズルと 2 流体ノズルの比較

ノズルを用いたミスト発生方法として1流体ノズルもしくは2流体ノズルについて検討を実施したが、大噴量が実現可能である点と冷却室の圧力制御性が容易である点を考慮し、1流体 ノズルを使用することを決定した。

2-2-2 ミスト冷却装置の製作

2-2-2-1 ミスト噴霧機構の設計

模擬的に既存のテスト装置で種々基礎的なテストを行い、そのデータを基にミスト冷却装置の 設計を実施した。

2-2-2-1-1 実験方法

図 2.2.2 にミスト冷却テスト装置の外観を示す。装置の主な構成機器は次の通りであり、同時にそれぞれの役割を記述する。

炉体	:	加熱されたテストピースを装填し、真空雰囲気に保つ
熱交換器	:	蒸発した冷媒を冷却・凝縮する
ドライポンプ	:	炉体を真空に排気する
N2 ガス投入口	:	ガスを投入し、装置内の圧力を上昇させる
圧力計	:	装置内の圧力を測定する
タンク	:	冷媒を一定量貯蓄する
ストレーナ	:	冷媒を濾し、固形物を除去する
ノズル	:	冷媒に圧力がかかることでミストを発生させる
液体ポンプ	:	冷媒を循環させ、ノズルに圧力をかける



図 2.2.2 装置外観

実験の手順を以下に記す。

外部小型電気炉にて加熱した円柱試片をミスト冷却炉内に装入(図2.2.3) 装置内圧力を排気し、実験条件の圧力に制御(図2.2.4) ミスト冷却(図2.2.5) 装置内を大気圧まで復圧後、テストピースを取出(図2.2.6)

・圧力制御について

冷媒の沸点を変動させないため、冷却中の炉内圧力は一定に保持している。目標圧力より 5kPa 高い時点で真空排気、目標圧力より 5kPa 低い時点でガスを投入している。

- 2-2-2-1-2 実験条件
  - 熱電対:Kタイプ

冷媒: 精製水(0.12µS/cm)、フッ素系溶媒(Novec 7600 住友 3M)

**ミスト噴霧量**: 2~27L/min

テストピースの材質:SUS304材

テストピース大きさ Φ25×L60、Φ80×L80

テストピース初期温度:約700、850

装置内圧力: 50k~80kPa

噴霧箇所:上部1箇所、上部3箇所

- ノズル噴霧角:15°(1/4MNJJP 1508S303:いけうち)
  - 75°(1/4MJJXP060S303:いけうち)

ミスト平均粒子径:15°ノズル(1/4MNJJP 1508S303)520µm ミスト平均粒子径: 75°ノズル(1/4MJJXP 060S303) 925µm



Nu对六供相



図2.2.3 処理物装入



図2.2.4 大気圧→真空排気(圧力調整)



図2.2.6 復圧→取り出し

2-2-2-1-3 実験結果

< ミスト冷却のコントロール性 >

図 2.2.7 に、インバータ流量制御により噴霧量 27L / min または 9L / min で冷却した場合の、 円柱試片中心 1 点の冷却曲線を示す。その他の実験条件は下記表の通りである。グラフからは まず噴霧量を変えることで冷却速度が変えることができるということが分かる。 また、ミスト 冷却においても浸漬試験と同様に、蒸気膜段階・沸騰段階・対流段階といった各段階が存在す るということも分かる。冷却開始 900 から 200 に要する時間は噴霧量 27L/min の場合 195 秒、9L / min の場合は 370 秒であった。また、噴霧量 9L / min の場合は蒸気膜段階が比較的長 い。これは噴霧量が多いほうが、ノズルから噴出される水の初期速度が速くなっているためだ と思われる。

冷媒	精製水
ミスト噴霧量	9、27L / min
テストピース大きさ	Ф80×L80
テストピース初期温度	850
装置内圧力	50kPa
噴霧箇所	上部3箇所
ノズル噴霧角	75°



図2.2.7 ミスト冷却のコントロール性

<ステップ冷却>

図 2.2.8 に、噴霧量を途中で変化させた場合:  $8 \rightarrow 2 \rightarrow 8L / \min$ と変化させたときの、円柱試片 中心 1 点の冷却曲線を示す。その他の実験条件は下記表の通りである。500 でミスト噴霧量を 8L / min から 2L / min に変化させることで、冷却速度が落ちた。さらに 300 で再び 8L / min に上げたところ冷却速度が高くなり、階段状に冷却速度が変化する結果が得られた。ミスト冷却 では冷却途中で噴霧量を変えることにより、このようなたなを作ることが出来る。

冷媒	フッ素系溶媒
ミスト噴霧量	$2 \rightarrow 8 \rightarrow 2 L / min$
テストピース大きさ	$\Phi 25 \times L60$
テストピース初期温度	700
装置内圧力	50kPa
噴霧箇所	上部1箇所
ノズル噴霧角	75°



図2.2.8 ステップ冷却

< 中間停止冷却 >

噴霧中にいったん噴霧を停止させ、冷却を実施した。実験条件は下記表の通りである。2-2-1-3 のデータまでは中心温度のみのデータを提示したが、本項の測定ではテストピース内部 5 点の 温度を取得している。中心温度・上部表面から深さ 5mm の温度、下部表面から深さ 5mm の温 度、側面表面から深さ 5mm の温度、そして側面と中心と4分の1 D の中間点の温度を測定し た。

図 2.2.9 に、中間停止冷却曲線を示す。5 箇所の測温点の温度は冷却開始直後からそれぞれ異な る冷却速度で温度降下している。特に中心上部の温度は冷却開始直後に急激に下がっているが、 噴霧停止期間に、温度が回復して他の測温点の温度に近づき、円柱温度の均熱化が生じているこ とがわかる。

冷媒	精製水
ミスト噴霧量	27→0→9L / min
テストピース大きさ	Φ80×L60
テストピース初期温度	850
装置内圧力	50kPa
噴霧箇所	上部3箇所
ノズル噴霧角	75°



図2.2.9 中間停止冷却

<急速冷却>

噴霧角が狭いノズルを使用し、急速冷却を実施した。図 2.2.10 に、精製水を冷媒として 80×L80mm の SUS304 円柱を約 850 からミスト冷却した場合の、中心と側面の冷却曲線を示 す。同図には同じテストピースを用いて浸漬試験を実施したときの結果も示す。それぞれの試 験条件は下記表の通りである。中心で冷却開始から 200 までに要する時間は浸漬の場合 120 秒、ミストの場合は 100 秒であり、浸漬冷却とミスト冷却で同程度であった。側面では冷却開 始から 200 まで浸漬の場合は約 42 秒、ミストの場合は 70 秒であった。側面のミスト冷却曲 線から、ミスト冷却開始 50 秒間は蒸気膜段階にあり、蒸気膜破砕後の沸騰段階に特に速い冷却 速度を示すことがわかった。

浸漬冷媒	精製水
冷媒量	10L
冷媒温度	精製水:30
浸漬条件	無攪拌
ノズル噴霧角	15°
テストピース大きさ	Φ80×L80
テストピース初期温度	約 850
テストピース材質	SUS304 材

浸漬冷却条件

ミスト冷却条件

噴霧冷媒	精製水
ミスト噴霧量	27L/min
噴霧箇所	上部3箇所
装置内圧力	50kPa
テストピース大きさ	Φ80×L60
テストピース大きさ テストピース初期温度	Φ80×L60 850



図2.2.10 急速冷却

その他の設計条件は既存テスト機を使用し、急冷に向く粒度(雨粒粒径近傍)は750~1000µm 程度が妥当と判断し、冷却のコントロ - ル性を重視した場合の粒度(霧状)は500µm 程度が妥 当と実験より解った。噴霧角も狭角ノズル、広角ノズルを使用し、冷却特性を見極め、広角ほ どコントロ - ル性は優れていることが解った。冷却時の炉内圧力に関して30kPa~80kPaでテ ストを行い、安全面を考慮し、50kPa が妥当と判断した。又、運転サイクルも一般的な噴霧法 (冷却条件を変更しない無段ステップ)に対して、中間停止法(多段ステップ)パルス冷却法 の有効性の確認と運転方法を確立した。また、冷媒の流動性を確認し、装置の循環系の設計条 件を導き出した。

#### 2-2-2-2 ミスト冷却装置の設計

前章まで記述の通り、事前に既存テスト機で全ての設計条件を検証し、実機の設計を行った。 図 2.2.11~2.2.15 にミスト冷却装置の設計図面を示す。ここで、装置内の噴霧領域を幅 490× 縦 400×奥行 800[mm]とした経緯について述べる。八田工業㈱にて多く処理を行っている長さ 300mmのシャフトは、歪みを考慮し立てて処理する必要があるために、高さを 400mmと決定 した。又、八田工業㈱では1段あたり 100~150 ヶの部品を処理することが多く、部品1 ヶが 40mm×40mm であると仮定し、幅方向に 10 ヶ、奥行方向に 15 ヶ並べることが可能な噴霧領 域とした。

処理品が均一に冷却するためにミストが均一に噴霧される必要があるため、ミスト噴霧ノズ ル設置位置に関して検討を行った。図 2.2.16、2.2.17 には 32 個の充円錐ノズルを設置したとき のミスト噴霧範囲を示す。図 2.2.16 には噴霧角が 180°のノズルを仕様した場合の噴霧範囲、図 2.2.17 には噴霧角が 80°のノズルを仕様した場合の噴霧範囲である。本研究では均一な冷却を 目指すために、噴霧範囲が狭いノズルではなく、ミストを容器内に充満させやすい噴霧角が広 い 180°ノズル(1F7JJXP280B×32 ヶ:いけうち)の使用を決定した。



図 2.2.11 ミスト全体図



図 2.2.12 ミスト循環配管系統図



図 2.2.13 冷却水配管系統図



図 2.2.14 ガス配管系統図



図 2.2.15 排気配管系統図



図 2.2.16 ミスト噴霧範囲 (180°ノズル使用)



図 2.2.17 ミスト噴霧範囲 (80°ノズル使用)

2-2-2-3 ミスト冷却装置の基本性能

本項では製作したミスト冷却装置の基本性能について述べる。図 2.2.18 に排気性能の検査成 績を示す。図 2.2.19 にはリークアップレートと到達真空度を測定したときのチャートを示す。 到達真空圧力、排気時間、リークアップレートは次の通りである。

**到達真空圧力:1.7 Pa** 

排気時間 (大気圧から 10Pa まで):7分4秒

リークアップレート: 0.07Pa / h 以下

図 2.2.20 には 50、10、87kPa と圧力制御を実施したときの結果を示す。それぞれの値に制御した時の圧力変動幅は下記の通りであり、制御目標値との誤差は 2%以内に収まっている。

< 50kPa 制御時 >

圧力変動幅: 50.5~51.2 k Pa (制御誤差) = (51.2 - 50.0) / 101.0 0.0119 よって制御誤差は 1.19%

< 10kPa 制御時 >

圧力変動幅:10.6~11.3 k Pa
(制御誤差) = (11.3 - 10.0) / 101.0 0.0129
よって制御誤差は 1.29%

< 87kPa 制御時 >

圧力変動幅:86.9~89.0 k Pa (制御誤差)=(89.0-87.0)/101.0 0.0198 よって制御誤差は1.98%

ミスト噴霧量はインバータの加速・減速時間を指定することにより、5秒にて噴霧量を変更 することが可能であった。冷媒ポンプの電流値が定格電流を超えない限り、さらなる応答性の 短縮が可能と判断する。

				月日	平成	22年2月20日
	検査試運転項目		検査基準	検査基準 工場測定値		現地測定値
щ	¥	动水圧(入口)	300~400kPa(abs)	-	kPa(abs)	kPa(abs)
給源	ガス圧	N2, (入口)	800~900kPa(abs)	820	kPa(abs) kPa(a	
加	昇温時 真空無	Ⅰ :間(常温から1150℃) :負荷・フルパワー時	40分以内	- 5	}一秒 分∶	
室	冷却時間 無負	駅(1150℃から150℃迄) 荷・N2ガス・87kPa GFC時	20分以内	一分一秒		分秒
		<ul> <li>町建具空圧刀</li> <li>無負荷・常温・</li> <li>N2ガス雰囲気状態</li> </ul>	2 Pa より高真空	1. ( 0.2	7 Pa 25V)	m Pa
	ミスト	排気時間 大気圧から 10 Pa 迄	25分以内	7分04秒	04 秒	分秒
	行叫重	無負荷・常温 N2ガスパージ状態		. ,, ,,,,,		
真	-	リークアップレート 無負荷・常温 0.6Pa		0.07 Pa/h 以下		Pa/h
空度		到達真空圧力 無負荷・脱ガス・常温・ N2ガス雰囲気状態	7mPa より高真空	— mPa		. mPa
t	加熱室	排気時間 大気圧から 15 mPa 迄 無負荷・脱ガス・常温・ N2カ <sup>*</sup> スハ <sup>*</sup> ーシ <sup>*</sup> 状態	25分以内	一分一秒		分秒
		リークアップレート 無負荷・脱ガス・常温	0.15Pa/h以下	— Pa/h		Pa/h
絶		操作回路	2MΩ以上	-	мΩ	MΩ
縁抵		動力回路	2MQ以上	- MΩ		МΩ
抗		炉内ヒータ	0.5MQ以上	— MΩ		MΩ
					Å	则定結果
	<b>左</b> 今幽	集の作動建築	洋細叶初幼仕様津	117 25		_

. .

図 2.2.18 ミスト冷却装置排気性




図 2.2.20 圧力制御

<最大噴霧量>

冷媒ポンプ2次側の圧力を圧力計(図2.2.12 部品番号7)により測定したときの写真を図 2.2.21に示す。冷媒ポンプを3台とも60Hz で運転させ、装置圧力を50kPaとした時に圧力 が0.215MPaG(揚程高さ21.5m)かかっている。図2.2.22に示す冷媒ポンプ性能曲線から、1 台あたり820L/min流れており、ポンプ3台で820×3 = 2460L/minの噴霧量が得られてい る計算となる。翌年度以降、流量計を用いて実際に配管を流れている流量を測定する。



図 2.2.21 冷媒ポンプの 2 次側圧力

< 噴霧量の再現性 >

冷媒ポンプ 2 次側の圧力を圧力計(図 2.2.12 部品番号 7)により 4 回測定したときの写真 を図 2.2.23 に示す。冷媒ポンプを 3 台とも 60Hz で運転させ、装置圧力を 50 k Pa とした時の 冷媒圧力は次の通りである。

1回目 0.215MPaG(揚程高さ 21.5m)
図 2.2.19 より、1台あたり 820L/min ポンプ3台で 820×3 = 2460L/min
2回目 0.225MPaG(揚程高さ 22.5m)
図 2.2.19 より、1台あたり 790L/min ポンプ3台で 825×3 = 2370L/min
3回目 0.220MPaG(揚程高さ 22.0m)
図 2.2.19 より、1台あたり 805L/min ポンプ3台で 805×3 = 2415L/min
4 回目 0.220MPaG(揚程高さ 22.0m)
図 2.2.19 より、1台あたり 805L/min ポンプ3台で 805×3 = 2415L/min
噴霧量変動幅: 2370~2460L/min
(噴霧量誤差) = (2460 - 2370) / 2460 0.0366

よって噴霧量誤差は 3.66%

_										4
エバ	エバラFS型片吸込渦巻ポンプ									
EBA	EBARA END SUCTION VOLUTE PUMPS 代表性能曲線									
₩ MOD	<b>者</b> 652	x50FS	2665.	5			ор 60 нz	Ц OUTPU	⊅ 5	5.5 kW
<b>電動</b> MOTO	機定格 RRATING	200 V	21.2	A 3480 m	<u>in-1</u>	5.5 kW	B st bäge type 0.0.P	##	本国はエバラ製 使用した場合の	■単電動機を Dデータです
[		キャンプ PUMF	10.0	X 3400 P		三相:		MOTOR		
1 4	14112	490	3 F	R E	VOLTS (2	(V00	1 8 1	VOLTS (4	0001	主力
NO.	CAPACITY	TOTAL HEAD	EFF.	CURRENT	λ カ INPUT	勤平 EFF、	CURRENT	λ λ IMPUT	EFF.	OUTPUT
	L/min	n	x	Α	kW_	x	A	k#	x	ieW
1	0.0	44.8	0.0	9.30	2.667	83.3	4.650	2,667	83.3	2.221
2	250.0	43.0	51.8	12.90	3.950	85.5	6.450	3.950	85.5	3.377
3	500.0	36.5	66.8	16.63	5.208	85.4	8.320	5.208	85.4	4.447
4	750.0	25.0	65.7	17.40	5.459	85.2	8.700	5.459	85.2	4.651
5	850.0	19.5	58.9	17.14	5.370	85.3	8.570	5.370	85.3	4.580
40 20 50 50 20 40 5 20 20 40 5 20 20 40 5 20 20 40 5 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	the second									6. 4 2 4 1 2 4 1 2 4 1 2 4 1 2 4 1 2 8 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1
EBLE CAPA(	:L/sin 0			50	0		10	00		
產)	LEXALJIS	B 8301, B	8302624	17.				156 .	ケージングX王 CASING TEST	r PRESS.
NOTE CUSTO	THIS CUR	VE IS BASE	D ON JIS	TESTING (	CODE (B 83	01.8 830	2). 1 号 NO.		000010	HPo 
EINAL	USER 11	機械シス	74 R	979 殿	at 191 5	ITEM	NAME 37	ト循環ポン	ノブ	
£ 8 9	. ng ser.no.	65X50FS2	<u>a 8 40</u> 665.5	uel.	0.3	uvacitiv <u>stæ</u> ⊪Vnin	40	3600	5.5	1
						团香Dw	G.NO. P65	X50F52G6	5.5	000

図 2.2.22 冷媒ポンプ性能曲線



測定1回目

測定2回目



測定3回目

測定4回目

図 2.2.23 冷媒ポンプの 2 次側圧力 (噴霧量再現性)

#### 2-2-3 ミスト噴霧冷媒の検討

3 種類の冷媒の冷却性能について検証を行った。1 つ目が最も一般的な冷媒である水、2 つ目 が熱処理などでよく使用されている焼入油、そして 3 つ目がフッ素系溶媒である。フッ素系溶 媒はその組成に酸素分が含まれていないため、無酸化処理用が可能との可能性を考えて検証を 実施した。中でも環境面への負荷も考慮し、次の理由から Novec 7600 を試験用に選定している。

オゾン破壊係数ゼロ 不燃・引火点なし 実用上無毒

水に関しては上水(水道水)工業用水、精製水・純水の使用が考えられる。ここで、テスト 装置にて使用する冷媒の量が少ないこと、そして、水質が一定であるとの理由から、上水や工 業用水よりも比較的コストがかかる精製水で実験することを決めた。ただし、実際のミスト冷 却装置では冷媒量が 200L 以上必要であるため、実際に加熱した処理品へのミストの噴霧結果 も考慮に入れ、翌年度以降も検討を実施する必要がある。

実験は、外部の小型電気炉にて加熱した円柱試片を冷媒で満たした容器中へ浸漬し実施した。 実験条件は次の通りである。

熱電対	K タイプ
浸漬冷媒	精製水 ( 0.12µS/cm )
	油(ダフニーブライトクエンチ:出光興産)
	フッ素系溶媒 ( Novec 7600 : 住友 3M )
冷媒温度	精製水:30
	油:60
	フッ素系溶媒:40
冷媒量	1.8L
テストピース大きさ	Φ25×L60
テストピース初期温度	約 700
テストピースの材質	SUS304 材
浸漬条件	無攪拌

図 2.2.24 には 3 種類の冷媒を用い、浸漬試験を実施した時の円柱試片中心 1 点の冷却曲線を 示す。冷却開始 700 から 200 に要する時間は精製水の場合は 30 秒、フッ素系溶媒の場合は 94 秒、油の場合は 106 秒であった。このことから、フッ素系溶媒は油冷却と同程度の冷却性能 であることが分かった。また、精製水の冷却能力は他の 2 つの冷媒よりも高いことが明らかで ある。上水(水道水)工業用水、精製水・純水の冷却能力に違いがあるかは、実際に加熱した 処理品へのミスト噴霧を実施し、翌年度以降に検討を行う必要がある。



図 2.2.24 各種冷媒の冷却能

### 2-3 ミスト噴霧冷却法の基礎的研究(2)

- 2-3-1 加熱装置の製作
- 2-3-1-1 加熱装置の設計

ミスト噴霧前に処理品を加熱する機構として本装置を設計する。加熱装置に必要な条件として次の5点を挙げる。

①加熱装置内部を高真空まで排気できること

装置中から酸素分を極力排除し、処理品表面を酸化させずに加熱するために必要である。 ②高真空状態まで速やかに排気できること

加熱前の排気時間を短くし、作業効率を向上させるために必要である。

③加熱装置内の温度を均一に保持すること

同一処理品内にて温度差がつき、変形しないように必要である。

④加熱装置内の温度を速やかに上げること

作業効率を向上させるために必要である。

⑤加熱装置内の温度を速やかに下げること 作業効率を向上させるために必要である。

上記の点を踏まえ、加熱室の設計を実施した。図 2.3.1~2.3.6 に装置の図面を示す。また、 IHI 機械システムの標準的な炉を参考とし、上記①~⑤について次のように目標値を設定した。

- a. 加熱装置の真空排気能力 到達真空圧力: 7 MPa より高真空
  - 排気時間: 15 MPa 迄 25 分以内リークアップレート: 0.15 Pa / h 以下
- b. 加熱装置の加熱能力
   保持温度精度:±5℃以内の巾
   昇温時間: 1150℃迄40分以内
- c. 加熱装置の冷却能力
   冷却時間: 1150℃から 150℃迄 20 分以内





図 2.3.2 ヒータ構成



**平面** 図 2.3.3 加熱及び冷却装置平面



図 2.3.4 加熱及び冷却装置側面



雰囲気ガス配管

図 2.3.5 雰囲気ガス配管構成



真空排気配管

図 2.3.6 真空排気配管構成

#### 2-3-1-2 加熱装置の試運転

加熱装置の製造が完了した後、加熱装置の試運転を実施した。2-1-1項にて述べた a,b,c項目の測定条件を次に示す。また保持温度精度測定時の熱電対取り付け要領を図 2.3.7に示す。

<u>a. 加熱表重の具空</u>	EDF 对 拒 / J
測定項目	実験方法
到達真空圧力	空炉,常温,N2ガス雰囲気状態から排気し、ピラニ真空計により測定
排気時間	空炉 , 常温 , N2ガスパージ状態から15 mPaまで到達する時間を測定
リークアップレート	炉内を真空状態に封じ込めた後、ピラニ真空計により、1時間真空度の上昇値を測定

b. 加熱装置の過熱	能力
測定項目	実験方法
保持温度精度	有効加熱帯(490mm巾×400mm高×800mm長)の 9点(各コーナと中心)をNi-NiMo  熱電対にて測定、真空,空炉で,540,900,1150,にて温度幅を測定
昇温時間	空炉にて常温から 1150 まで到達する時間を測定

c. 加熱装置の冷却	〕能力		
測定項目	実験方法		
冷却時間	炉内圧力を87kPa、N2ガス雰囲気,ガスファン冷却、空炉にて1150 到達する時間を測定	から150	まで

上記 a,b,c 項目の測定結果を表 2.3.1 に示す。また、リークアップレート測定時のチャート を図 2.3.8、温度分布測定時の全体チャートを図 2.3.9、図 2.3.10~図 2.3.15 には温度分布測定 時の詳細測定結果及びチャートを示す。表 2.3.1 から明らかなように、全ての項目において加熱 装置の性能は目標値を上回った。

表 2.3.1 加熱装置試運転結果

	測定項目	目標値	測定値
	到達真空圧力	7mPa以下	3mPa
a. 加熱装置の真空排気能力	排気時間	25分以内	14分40秒
	リークアップレート	0.15Pa/h以下	0.03Pa/h以下
			540 時 巾3.5
b 加執法置の過執能力	保持温度精度	巾 ± 5	900 時 巾3.5
5. 加索液直。2. 迥然能力			1150 時 巾3.1
	昇温時間	40分以内	31分47秒
c. 加熱装置の冷却能力	冷却時間	20分以内	18分49秒



図 2.3.7 保持温度精度測定時の熱電対取り付け要領



図 2.3.8 リークアップレート測定チャー



図 2.3.9 温度分布測定時の全体チャート

# 温 度 分 布 測 定データ

工事番号	R 9 8 1 S	型	式	MQ - 2C - 49/40/80	測定年月日	平成22年12月29日
測定温度	540	雰囲気	条件	真空 0.2Pa 以下	試験員	唐重

## <u>最終安定時の分布(ハイブリッドで測定)</u>

## <u>ダイヤル設定値</u>

T/C NO	熱起電力	温度換算	補正値	真温度
T/C NU.	(mV)	( )	( )	( )
1		543.4	- 2.6	540.8
2		542.1	- 2.6	539.5
3		541.0	- 2.6	538.4
4		541.6	- 2.6	539.0
5		542.6	- 2.6	540.0
6		544.4	- 2.6	541.8
7		542.6	- 2.6	540.0
8		540.9	- 2.6	538.3
9		543.7	- 2.7	541.0
	上限No.	6	温度幅	2.5
	下限N₀.	8	( )	3.5

各ゾーン	(%)	一斉 (%)	勾配 ( /分)
前下	100		
前上	85	70	5
後	90	70	5

<u>放熱糸数</u>							
電圧(V)	電流(A)						
12.0	200						
10.0	150						
12.0	160						
	<u>8</u> 電圧(V) 12.0 10.0 12.0						



Ρ	Ι	D
1.0	260	80

バイアス ( ) -2

図 2.3.10 540℃温度分布測定時の測定結果



# 温 度 分 布 測 定データ

工事番号	R 9 8 1 S	型	式	MQ - 2C - 49/40/80	測定年月日	平成22年12月29日
測定温度	900	雰囲気条	件	N2ガス 67Pa	試 験 員	唐重

## <u>最終安定時の分布(ハイブリッドで測定)</u>

## <u>ダイヤル設定値</u>

<u>++</u>++

T/C No	熱起電力	温度換算	補正値	真温度	
170 10.	(mV)	( )	( )	( )	
1		905.1	- 3.2	901.9	
2		904.8	- 3.1	901.7	
3		903.0	- 3.2	899.8	
4		902.9	- 3.2	899.7	
5		905.7	- 3.3	902.4	
6		906.4	- 3.2	903.2	
7		904.0	- 3.2	900.8	
8		903.4	- 3.3	900.1	
9		905.6	- 3.3	902.3	
	上限No. 6		温度幅	0.5	
	下限Nº.	4	( )	3.5	

各ゾーン	(%)	一斉 (%)	勾配 ( /分)
前下	100		
前上	85	05	10
後	90	00	10

፪流(A)
370
320
350

### <u>PID設定値</u>

Ρ	Ι	D
1.0	260	80

図 2.3.12 900℃温度分布測定時の測定結果



# 温 度 分 布 測 定データ

工事番号	R 9 8 1 S	型	式	MQ - 2C - 49/40/80	測定年月日	平成22年12月29日
測定温度	1150	雰囲気系	条件	N2ガス 67Pa	試 験 員	唐重

## <u>最終安定時の分布(ハイブリッドで測定)</u>

# <u>ダイヤル設定値</u>

	熱起電力	温度換算	補正値	真温度	
T/C NO.	(mV)	起電力 温度換算 補正値 (mV) () () 1153.7 - 3.8 1153.8 - 3.8 1153.8 - 3.8 1152.2 - 3.9 1154.2 - 3.9 1154.7 - 3.9 1154.7 - 3.9 1152.6 - 3.9 1152.6 - 3.9 1152.2 - 4.0 1154.3 - 4.0           1154.7 - 3.9           1152.6 - 3.9           1154.7 - 4.0           1154.7 - 4.0           1154.8 - 4.0           1154.9 - 4.0           1154.9 - 4.0           1154.3 - 4.0           1154.3 - 4.0           1154.3 - 4.0           1154.3 - 4.0           1154.3 - 4.0           1154.3 - 4.0           1154.3 - 4.0           1154.3 - 4.0	( )		
1		1153.7	- 3.8	1149.9	
2		1153.8	- 3.8	1150.0	
3		1152.2	- 3.9	1148.3	
4		1151.5	- 3.8	1147.7	
5		1154.2	- 3.9	1150.3	
6		1154.7	- 3.9	1150.8	
7		1152.6	- 3.9	1148.7	
8		1152.2	- 4.0	1148.2	
9		1154.3	- 4.0	1150.3	
	上限No.	6	温度幅		
	下限No.	2,8	( )	3.1	

タバーン	(%)	一斉	勾配
	(70)	(%)	( /分)
前下	100		
前上	85	05	10
後	90	90	10

<u>X</u>	
電圧(V)	電流(A)
28.0	470
24.0	410
26.0	430
	<u>8</u> 電圧(V) 28.0 24.0 26.0

### <u>PID設定値</u>

Ρ	Ι	D
1.0	260	80

バイアス () -1

図 2.3.14 1150℃温度分布測定時の測定結果



図 2.3.15 1150℃温度分布測定時の詳細チャート

2-3-2 低焼入れ性材料へのミスト冷却効果の検証

2-3-2-1 油冷却

低焼入れ性材料へのミスト冷却効果を確認するため、ミスト冷却で使用するものと同じS45C 材料でテストピースを作製し、通常の油冷却焼入れ比較試験を実施した。

変形を測定するテストピースは、【全長】120、【内径】 φ42、【外径】 φ50 とし、冷却中の変 形がより顕著に表れるように中空形 (パイプ形)に決定した。測定箇所は、上中下の内径、外径 の X 方向、Y 方向を焼入れ前と焼入れ後に測定し、その際の真円度と円筒度を確認した。テス トピースの配置、炉内の①手前上段左側、②手前下段右側、③奥下段左側、④奥上段右側⑤中央 部5箇所にセットした。加熱温度 850℃、処理品均熱時間 60 分とし、焼入れ試験後の変形と硬 さのデータを以下に記す。

	焼入前 S45C 真円度						
No.		$\phi$ 42			焼 入 前 円 筒 度		
	上	中	下	上	中	下	
1	20	0	5	19	4	2	15
2	10	5	0	5	0	3	5
3	2	10	5	9	2	4	7
4	10	0	2	8	2	1	6
5	0	5	15	0	5	21	5

	(油冷却) 焼入後 S45C 真円度							
No.		$\phi$ 42			院 八 後 円 筒 度			
	Ŀ	中	下	上	中	下		
1	190	40	70	188	27	74	161	
2	35	100	0	40	96	39	56	
3	280	10	65	327	13	36	314	
4	85	60 70		74	40	399	34	
5	70	60	115	92	91	112	1	

注記:上記データ単位(µm)





真円度:上部のXY寸法の差を持って真円度とする 円筒度:上部のXY寸法と中部のXY寸法の差を テーパー度とする。

### 硬さ測定

	焼入れ	し後の研	更さ				
	1		2	3	4	5	
HRC	56.3		55.9	57.0	56.9	57.3	

寸法測定

	焼入前S45C材寸法													
			内径	42部					外径	50部				
							上部 中央 下部					部		
	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y		
1	15	-5	10	10	0	5	1	-18	-1	-5	1	3		
2	10	0	10	5	5	5	-3	-8	-3	-3	0	3		
3	-15	-13	-5	5	0	-5	-17	-8	-6	-4	-1	-5		
4	10	0	10	10	8	10	-2	-10	-3	-5	-1	0		
5	5	5	5	10	-5	10	-5	-5	-11	-6	-22	-1		

	焼入後S45C材寸法												
	内径 42部								外径	50部			
	上部 中央 下部					上部 中央 下			部				
	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	
1	70	-120	20	-20	10	80	78	-110	10	-17	5	79	
2	35	0	90	-10	50	50	45	5	97	1	31	70	
3	140	-140	40	30	55	-10	199	-128	58	45	62	26	
4	25	-60	20	-40	120	-50	31	-43	81	41	280	-119	
5	-30	-100	40	-20	20	-95	-57	-35	-38	53	15	-97	

注記:上記データの単位はµmであり、それぞれの基準寸法との差異を記述(例 内径42.190、外径49.970 「190、-30」)

## 2-3-2-2 ガス冷却

低焼入れ性材料へのミスト冷却効果を確認するため、ミスト冷却で使用するものと同じ SUS420J2 材料でテストピースを作製し、通常のガス冷却焼入れ比較試験を実施した。

変形を測定するテストピースは、【全長】120、【内径】 φ42、【外径】 φ50 とし、冷却中の変 形がより顕著に表れるように中空形 (パイプ形)に決定した。測定箇所は、上中下の内径、外径 の X 方向、Y 方向を焼入れ前と焼入れ後に測定し、その際の真円度と円筒度を確認した。テス トピースの配置、炉内の①手前上段左側、②手前下段右側、③奥下段左側、④奥上段右側⑤中央 部5箇所にセットした。加熱温度 1015℃、処理品均熱時間 110 分とし、焼入れ試験後の変形と 硬さのデータを以下に記す。

		焼入前 SUS420J2 真円度										
No.		$\phi$ 42			焼 入 前 円 筒 度							
	上	中	下	上	中	下						
1	0	0	0	1	1	3	0					
2	5	0	0	2	0	6	2					
3	5	0	5	2	1	1	1					
4	1	0	0	1	1	0	0					
5	0	0	1	1	0	9	1					

No.		$\phi$ 42			$\phi 50$				
	上	中	下	上	中	下			
1	2	0	5	2	0	7	2		
2	0	10	25	16	1	35	15		
3	0	5	5	3	3	5	0		
4	10	0	10	7	0	9	7		
5	6	2	15	5	0	9	5		

注記:上記データ単位 (µm)

### 熱処理方案 SUS420J2



## 寸法測定



真円度:上部のXY寸法の差を持って真円度とする

円筒度:上部のXY寸法と中部のXY寸法の差を テーパー度とする。

硬さ測定

	焼入れ後の硬さ										
	1		2		3		4		5		
HRC	54.9		54.5		55.2		54.8		54.3		

### 寸法測定

				ţ.	尭入前5	SUS420	)材寸污	L.					
			内径	42部					外径	50部			
	上部 中央 下部						上部 中央 下部				部		
	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	
1	0	0	0	0	-10	-10	1	0	0	-1	1	-4	
2	-5	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-6	0	
3	- 15	-20	0	0	5	0	0	-2	-2	-1	0	-1	
4	3	2	10	10	10	10	-3	-4	-4	-3	-1	-1	
5	0	0	0	0	-7	-8	-13	-12	-16	-16	-11	-20	

	焼入後SUS420材寸法												
			内径	42部					外径	50部			1
	上部 中央 下部						上部 中央 下部			部			
	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	Х	Y	L
1	-10	-8	-10	-10	-15	-20	7	5	1	1	7	0	
2	-10	-10	-20	-10	5	-20	-3	13	7	6	26	-9	
3	-30	-30	-15	-20	-10	-5	8	11	0	3	-3	2	
4	0	-10	0	0	0	-10	3	-4	0	0	14	5	
5	-12	-18	-20	-18	-28	-13	-8	-13	-15	- 15	-24	-15	

注記:上記データの単位はµmであり、それぞれの基準寸法との差異を記述(例 内径42.190、外径49.970 「190、-30」)

2-3-2-3 ミスト冷却

2-3-2-3-1 着色試験条件

真空熱処理炉の大きな特徴として、無着色処理が挙げられる。真空熱処理では、真空加熱~冷 却(真空冷却及び窒素によるガス冷却及びガスファン冷却)の一連の過程にて、酸素分が介在し ない処理である。そのため、表面の酸化が抑えられ、処理品の着色が極力抑制することができる。 本試験では、冷媒に水を使用してミスト冷却を実施した。冷却過程に酸素分(水)が介在した場 合の表面着色状態を観察する。また、ミスト冷却と比較するために、同じ処理品を用いて真空冷 却及び窒素によるガス冷却及びガスファン冷却も実施した。処理品は図 2-3-16(a)に示すように、 バスケット中央及び 2 隅に設置し、ノズルは図 2-3-16(b)の箇所に設置した。その他の試験条件 を以下に記す。

中実処理品:SS400 (Φ20×L60) ×3 加熱温度: 850、1060℃ 昇温速度:15℃/min 処理品均熱時間:45min 油拡散ポンプ(DP):運転/停止は試験毎に異なる

【真空冷却】

冷却圧力:0.4Pa以下 ファン運転:停止

【ガス冷却(GC)】 冷却圧力 : 87kPa ファン運転: 停止

【ガスファン冷却(GFC)】 冷却圧力 : 87kPa ファン運転: 運転

- 【ミスト冷却(MC)】 冷媒 : 上水 噴霧中圧力:50kPa 噴霧時間:300sec 冷媒ポンプ周波数:60Hz
  - ノズル設置箇所
  - 上部 16 箇所、下部 16 箇所

①噴霧角 15°狭噴角充円錐ノズル×32 個

3/8MNJJP1520S303 : ㈱いけうち【平均粒子径 1200µm】

②ボールジョイント×32 個

(UT3/8M×3/8FB: ㈱いけうち)

※噴霧角 15°のノズルはボールジョイントを 使用し、ノズルの向きを調整した。



図 2-3-16(a) 処理品設置箇所



図 2-3-16(b) ノズル設置箇所

2-3-2-3-2 低焼入れ性材料ミスト冷却試験条件

低焼入れ性材料へのミスト冷却効果を確認するため、冷媒に水を使用してミスト冷却を実施した。低焼入れ性材料には、油冷却でないと焼きが入らない S45C 材を採用した。また、冷却中の変形がより顕著に現れるよう、処理品の形状を中空(パイプ)形とした。処理品は図 2.3.17(a) に示すように、バスケット中央に設置し、ノズルは図 2.3.17(b)の箇所に設置した。その他の試験条件を以下に記す。

中空処理品:S45C材(【外径】Φ50×【内径】Φ42×L120)×1 加熱温度 : 850℃ 昇温速度 : 15℃ / min 処理品均熱時間:45min 油拡散ポンプ(DP):停止

【ミスト冷却(MC)】
 冷媒 : 上水
 噴霧中圧力:50kPa
 噴霧時間:300sec
 冷媒ポンプ周波数:60Hz



図 2.3.17(a) 処理品設置箇所

ノズル設置箇所

(a) 上部 16 箇所、下部 8 箇所

①噴霧角 15°狭噴角充円錐ノズル×24 個

(3/8MNJJP1520S303: ㈱いけうち【平均粒子径 1200µm】)

②ボールジョイント×24 個

(UT3/8M×3/8FB:(㈱いけうち)

※(a)の設置方法のみ、ノズルを中央処理品に向けて設置

(b) 上部 45 箇所、下部 45 箇所

①噴霧角 15°狭噴角充円錐ノズル×70 個
 (3/8MNJJP1520S303:㈱いけうち【平均粒子径 1200µm】)
 ②噴霧角 30°狭噴角充円錐ノズル×20 個
 (3/8MNJJP3020B:㈱いけうち【平均粒子径 970µm】)
 ③ボールジョイント×90 個
 (UT3/8M×3/8FB:㈱いけうち)

(c) 上部 53 箇所、下部 53 箇所

①噴霧角 15°狭噴角充円錐ノズル×70 個
 (3/8MNJJP1520S303:㈱いけうち【平均粒子径 1200µm】)
 ②噴霧角 30°狭噴角充円錐ノズル×20 個
 (3/8MNJJP3020B:㈱いけうち【平均粒子径 970µm】)
 ③噴霧角 80°充円錐ノズル×16 個
 (1FJJXP60B:㈱いけうち【平均粒子径 900µm】)
 ④ボールジョイント×90 個
 (UT3/8M×3/8FB:㈱いけうち)

※噴霧角 15、30°のノズルはボールジョイントを使用し、ノズルの向きを調整した。



(a)の時
 (b)(c)の時
 図 2.3.17(b) ノズル設置箇所

変形量及び硬度の測定方法

図 2.3.18(a)に示すように、処理品の上部、中央、下部を測定箇所とした。処理の前後にて、 中空処理品の内径及び外径をデジタルマイクロメータにより測定し、その差を変形量とした。



図 2.3.18(a) マイクロメータ測定箇所

硬度の測定方法

図 2.3.18(b)に示すように、上下面それぞれ4点をロックウェル硬度計により、測定した。



図 2.3.18(b) 硬度計測定箇所

2-3-2-3-3 着色試験結果

2-3-2-3-1 にて示した試験条件により、SS400 材を真空冷却、窒素によるガス冷却(GC)、ガ スファン冷却(GFC)およびミスト冷却(MC)した時の結果を図 2.3.19(a)に示す。まず、ミ スト冷却(図中⑥)は他の冷却法(図中①~⑤)と比較し、濃く着色していることが明らかであ る。高温の処理品と水の接触により酸化したと考える。着色が少なかったのは、加熱温度を上昇 させた場合(図中③)と DP を運転したとき(図中⑤)であった。加熱中もわずかに残っている 酸素分により着色は進行する。加熱温度が高くなった時には、処理品表面から酸素が解離したた め、着色が少なかったと考える。



図 2.3.19(a) 着色試験結果(SS400 材 Φ20×L60)

本試験では一回につき 3 つの処理品を加熱・冷却したが、ミスト冷却以外は置き場所によら ず処理品の色は同じであった。ミスト冷却したときの 3 つの処理品着色結果を図 2.3.19(b)に示 す。左後方に設置した処理品のみ、着色の程度が比較的軽いことが分かる。ミストが重点的に当 たり、この処理品のみ早く冷えたことによって着色の程度が変わったこと考えられる。今後、設 置場所によって処理品の色が異なる場合には、ミストの目詰まりなど、ミストが均一に噴霧され て可能性を考える必要がある。また、極力均一にミスト噴霧されるようノズルの配置にも留意し なければならない。



図 2.3.19(b) ミスト冷却による処理品設置場所の違い

2-3-2-3-4 低焼入れ性材料ミスト冷却試験結果

2-3-2-3-2 にて示したように、ノズル設置箇所を(a),(b),(c)と変更し、ミスト冷却をした時の変 形量を図 2.3.20 に示す。図 2.3.20 より、内径・外径ともに(a)のノズル配置が最も変形量 が少ないことが分かる。(a)の設置方法では、(b)、(c)と比較してノズルの個数が最も少ない。 しかし、ノズルを中央処理品に向けて設置しており、処理品 1 個あたりに最も多くの水が当た っていると推測する。多くの水によって処理品全体が急激に冷却されたため、変形量が少なくな ったと考える。次に(b)と(c)の結果を比較すると、(b)の方が変形量が少なくなっている 傾向にある。(b)の設置方法のほうがノズルの個数が多く、(c)と比べて多くの水が処理品に当 たったために変形量が少なくなった。

ノズル設置箇所を(a),(b),(c)と変更し、ミスト冷却をした時の硬度の最高値及び最低値を表 2.3.2 に示す。(a)の時に最も硬くなり、焼きが入っていることが分かる。上記と同様に、処理 品1個あたりに最も多くの水が当たり、急激に冷却されたためであると考える。次に(b)と(c) の結果を比較すると、(b)の方が硬くなっていることが分かる。前述したように、(b)の方が(c) と比べて多くの水が処理品に当たり、素早く冷却されたためであると考える。(a),(b),(c)いずれ の場合においても、最高硬さと最低硬さが大きく離れており、硬さムラが発生している。今後、 硬さムラが発生しないよう、ノズルの設置箇所について検討を行う必要がある。

本実験より、変形量を少なくし、硬さを出すためには、ノズルを多く設置して多くの噴霧量を確保することが重要であると考える。



表 2.3.2 ミスト冷却による硬度

## 2-3-3 ミスト噴霧冷媒の検討

4 種類の冷媒のコスト面、冷却性、安全/環境性、メンテナンス性について検討を行った。焼 入油に関しては、後の洗浄工程が必要になるため、今回比較の為だけのデータになる。検討表よ り、水に関しては入手がきわめて容易であり、価格面、安全面、環境面において最適と判断する。

	冷媒コスト	冷却性	安全/環境	メンテナン	備考
上水	◎ 0.21~0.37 円 / ℓ	0	◎ 0 点	◎ 0点	入手がきわめて容易。
精製水	△ 137.5 円 / ℓ	© 19.0 ℃/sec	◎ 0 点	◎ 0 点	<ul> <li>一度焼入れを行うと上水と同じ</li> <li>成分と成る為、</li> <li>イオン交換装置の設置が必要。</li> </ul>
フッ素系	× 16,130~ 20,010 円	∆ 5.06 ℃/sec	△ 2 点	△ 2 点	人体に対する 毒性あり、噴霧 後、洗浄液によ る後処理の必 要あり。
焼入油 参考	△ 400 円 / ℓ	∆ 7.41 ℃/sec	△ 2 点	〇 1 点	特 定 さ れ た 廃 棄 方 法 の 必 要 あり。
評価基準					
0	0~10 円	$15\sim$ °C/sec	0 点	0 点	
0	10~100 円	$10 \sim 15$	1 点	1 点	
	100~1000 円	$5 \sim 10$	2 点	2 点	
×	1000 円~	$\sim 5$	3~点	3~点	

2-3-4 ミスト挙動の予測

2-3-4-1 ミスト挙動予測における試験条件

熱した処理品にミストを噴霧した際、冷媒がどのような挙動を示すかを予測するため、処理品の重量及び処理品の温度を変化させ試験を実施した。ノズルは図 2.3.21 の箇所に設置した。その他の試験条件を以下に記す。

処理品重量 : 50kg,270kg 処理品材質 : SUS 材 加熱温度 : 400,850(800),1200℃ 昇温速度 : 10℃/min 処理品均熱時間:60min 油拡散ポンプ(DP):運転

【ミスト冷却 (MC)】

冷媒 : 上水
噴霧中圧力:50kPa
噴霧中圧力:50kPa
噴霧時間:300、900sec
ノズル設置箇所
上部 53 箇所、下部 53 箇所
①噴霧角 15°狭噴角充円錐ノズル×70 個
(3/8MNJJP1520S303:(㈱いけうち【平均粒子径 1200µm】)
②噴霧角 30°狭噴角充円錐ノズル×20 個
(3/8MNJJP3020B:(㈱いけうち【平均粒子径 970µm】)
③噴霧角 80°充円錐ノズル×16 個
(1FJJXP60B:(㈱いけうち【平均粒子径 900µm】)
④ボールジョイント×90 個
(UT3/8M×3/8 F B:(㈱いけうち)

※噴霧角 15、30°のノズルはボールジョイントを使用し、ノズルの向きを調整した。



図 2.3.21 ノズル設置箇所

2-3-4-2 ミスト挙動予測における試験結果

2-3-4-1 にて示した試験条件により、処理品をミスト冷却した時の試験条件及び噴霧直後の圧力上昇値を表 2.3.3 に示す。試験に使用した処理品の写真を図 2.3.22(a)および(b)に示す。

処理品重量[kg]	処理品表面積[m3]	処理品温度[ ]	ミスト冷却時間[秒]	圧力上昇値[kPa]
		400		2
50	0.9	850	300	2
		1200		3
270		400		28
	2.8	800	900	31
		1200		33

表 2.3.3 ミスト挙動予測試験





図 2.3.22(a) 50kg 処理品 (トレー35kg+バスケット 15kg)

図 2.3.22(b) 270kg 処理品 (トレー45kg+治具 45kg+180kg)

表 2.3.3 より、処理品重量が 50kg の時はミストを噴霧しても圧力はほとんど 上昇しないことが分かる。このことから、蒸発した水蒸気の大部分は周辺のミス ト、熱交換器、炉体と熱交換をすることによって、再凝縮しているものと予測す る。処理品重量が 270kg の時は、ミストを噴霧することで圧力は 30kPa 程度上 昇している。処理品の表面積が多く、熱容量が大きい時には多量に水蒸気が発生 し、一部の水蒸気が再凝縮しなかったことによって圧力が上昇したと考える。ま た、圧力上昇値と処理品の温度は相関性が低いことが分かる。上記のことから、 処理品重量が少ない時には熱交換器へ流れる冷却水量を減らすことによって、省 エネ運転に繋がる可能性がある。 2-4 ミスト噴霧冷却法の基礎的研究(3)

2-4-1 ミスト噴霧冷却効果の実証

2-4-1-1 ミスト噴霧冷却実証炉の調整

ミスト噴霧調整のため、上部急冷ヘッダ(図 2.4.1)、及び下部急冷ヘッダ(図 2.4.2) 取り付 けノズルの変更を実施した。(全体写真 図 2.4.3)

また、初期噴霧を安定させるためにエアー抜き配管を追加することで安定した噴霧状態を得 られることができた。

上記を変更した後に総合噴霧確認試験を実施した。その結果を図 2.4.4 に示す。試験条件については下記に記す。また、前記試験にて得られた流量より、ノズル単品での噴霧量へ換算し、 実際に噴霧をしている状況を確認するため、ノズル単品での噴霧確認試験を実施した。その結 果を図 2.4.5 に示す。

【総合噴霧試験条件】

- ・噴霧時間:180 秒
- ・ミスト循環ポンプ周波数:20Hz~60Hz 迄の 10Hz 刻み
- ・測定箇所 : 上部急冷ヘッダおよび下部急冷ヘッダ
- ·炉内庄 : 大気圧状態
- ・ノズル配置 : (a)上部急冷ヘッダ×2 セット
  - ・ノズル数量:49ヶ/1セット
  - ・ノズル仕様:噴霧角 80° 平均粒子 660µm
    - (3/8M JJXP 12S303 :(株)いけうち)

(b)下部急冷ヘッダ×2 セット

- ・ノズル数量:21ヶ/1セット
- ・ノズル仕様:噴霧角 80° 平均粒子 660µm
  - (3/8M JJXP 12S303 : (株) いけうち)

2-4-1-2 噴霧結果による考察

上部急冷ヘッダの結果を30Hz~60Hzのポイントをプロットした結果と下部急冷ヘッダの 結果を30Hz~60Hzのポイントをプロットした結果を図2.4.6 にまとめるとほぼリニアにな ることが見て取れる。この流量データを基に測定周波数以外の流量も特定することが可能と なる。また、単品のノズルの噴霧状態より、30Hzまでは噴霧角が広く全体に噴霧されている ことが見て取れる。但し、20Hzに関しては広がりもなく、バラツキが大きいことが確認でき た。結果、実運転時に20Hzは使用しないこととした。



図 2.4.1 上部急冷ヘッダ



図 2.4.2 下部急冷ヘッダ


図 2.4.3 全体写真



図 2.4.4 総合噴霧確認試験

対応周波数	ヘッダー流量 (L/min)	圧力 MPa(G)	推定流量 (L / min)	状況(写真)
60	241.13	0.11	11.5	
50	201.5	0.06	9.6	
40	163.38	0.05	7.8	
30	122	0	5.8	
20	81.38	0	3.9	

図 2.4.5 ノズル単品での噴霧確認試験



2-4-2 ミスト冷却シミュレーション

2-4-2-1 2 室測温方法の検討および実証

逆計算法によるシミュレーションを実施するにあたり、冷却中の処理品の中心温度を測定す る必要がある。そのため、熱電対を使用し加熱装置・冷却装置の2室にわたる温度測定を連続 的に測定できる方法を検討した。その方法としては、図2.4.7 測温装置概略図(IHI 特許品)及 び図2.4.8 に取り付け写真を示す。

上記システムを使用し、シミュレーションに必要なパラメータ(ミスト噴霧量、処理物)の 採取試験を行った。また試験条件については下記に記す。

【シミュレーション用パラメータ採取試験条件】

基本処埋材: サイス	材質
------------	----

大物:	$\phi$ 120×160	SUS304
中物:	$\phi \ 80 \times 80$	SUS304

- 小物:  $\phi$  50×100 SUS304
- ・加熱温度:850℃

.

- ・昇温速度:10℃/min
- 処理材均熱時間:2hr 30min
- ・ミスト冷却時間:900sec
- ・噴霧中圧力:70kPa
- ・ミスト循環ポンプ周波数: 30Hz、40Hz、60Hz の3条件
- ・ミスト噴霧ライン:急冷ライン
- ・テストピース配置及びT/C挿入位置図:図2.4.9に示す。
- ・測温試験パターン:図2.4.10に示す。

2-4-2-2 冷却曲線の結果

30Hz、40Hz、60Hzの結果を図 2.4.11~図 2.4.13 に示す。

測定結果より、大物品は隅及び中央にセットした冷却曲線がほぼ一致していることが確認できる。



図 2.4.7 測温装置概略図



図 2.4.8 測温装置写真



	ヘ作生況				
	サイズ(mm)	重量(kg)	数量	T/C取付け数	材質
大	$\phi$ 120 × 160	14.5	3	2	SUS304
中	$\phi$ 80 × 160	6	3	1	SUS304
小	$\phi$ 50 × 100	1.6	1	1	SUS304

図 2.4.9 テストピース配置及び T/C 挿入位置図







図 2.4.11 30Hz の測定結果







図 2.4.13 60Hz の測定結果

2-4-2-3 冷却シミュレーション

前記結果のうち、大物処理品の冷却曲線について逆計算法を用いて熱伝達率を導いた。その 結果 30Hz、40Hz、60Hz にシミュレーション結果とそれにより導いた熱伝達率を図 2.4.14~ 図 2.4.16 にまとめた。



図 2.4.14 30Hz シミュレーション結果とそれにより導いた熱伝達率







図 2.1.16 60Hz シミュレーション結果とそれにより導いた熱伝達率

2-4-2-4 冷却シミュレーション結果による考察

周波数に対する熱伝達率を図 2.4.17 にまとめる。また、図 2.4.18 には推定流量と熱伝達率との関係を示す。図 2.4.18 より推定流量と熱伝達率はリニアな関係にあり、

熱伝達率(W/m<sup>2</sup>・℃) =2.645× 流量(L/min)+164.18

上記、近似式で関係が示せる。これを用いることにより、今後は試験を行わず、事前に冷却 曲線を推定することが可能になる。



図 2.4.17 周波数に対する熱伝達率



2-4-3 冷却コントロールにおける測温検討

2-4-3-1 サンプル温度の非接触温度測定

実操業において冷却コントロールを実施するためには、非接触により処理品温度を常時把握 することが欠かせない。その検証を行うため前項までの試験に加えて、非接触温度計(放射温 度計)を利用し、温度測定物の熱電対及び非接触温度計による温度測定を行った。測定方法は 図 2.4.19 に示す。試験条件は下記に記す。結果については図 2.4.20 に急冷系の結果を示し、図 2.4.21 にコントロール冷却系の結果を示す。

【サンプル温度の非接触温度測定試験条件】

材質

- サイズ ・温度測定材:t6×100×200 **SUS304**
- ・加熱温度:850℃
- ・昇温速度:10℃/min
- 処理材均熱時間: 2hr 30min
- ・ミスト冷却時間:900sec
- ・噴霧中圧力:70kPa
- ・ミスト循環ポンプ周波数:60Hz
- ・ミスト噴霧ライン:急冷系、コントロール冷却系の2条件







図 2.4.20 急冷系 温度差グラフ



図 2.4.21 コントロール冷却系 温度差グラフ

2-4-3-2 冷却コントロールにおける測温の考察

熱電対による測定結果と非接触式温度計(放射温度計)とではかなりの解離があることが判った。しかし、放射温度計での測定結果は何らかの温度依存性は確認できる。

これにより、補正値等を加えることにより、実温度を推定することも可能になると考える。

2-5 ミスト噴霧冷却実証炉の冷却特性

2-5-1 焼き入れ処理法と冷却能および急冷度

焼き入れ処理では、鋼材を硬化させるだけの十分な冷却能を持ち、しかも焼き割れを生じず 焼き入れ後に変形の少ないことが要求される。

一般に用いられている水や油などの焼き入れ剤中に、加熱した鋼材を投入した場合、その冷却過程は一般に図 2.5.1 に示すように 4 段階からなり、各段階で冷却速度が大きく異なる。



図 2.5.1 銀円柱試験片の蒸留水中焼き入れによる冷却曲線

図 2.5.1 において、第Ⅰ段階(A–B)は鋼の周辺の液体が沸点に達するまでの冷却で、第Ⅱ 段階(B–C)は蒸気膜で包まれた膜沸騰による冷却速度の小さい段階である。第Ⅲ段階(C–D) は、蒸気膜が破れ激しい核沸騰が起こる段階で、その際発生する気泡が試料表面から直接蒸発 潜熱を奪って鋼を冷却するため、冷却速度はもっとも大きくなる。第Ⅳ段階(D–E)は鋼の温 度降下によって沸騰が止まり、冷却剤の対流と熱伝導のみによって冷却される段階で冷却速度 は小さい。焼き入れ急冷のためには第Ⅲ段階による冷却が重要である。それゆえ、焼き入れ液 としては、第Ⅰ、第Ⅱ段階が短く、早く第Ⅲ段階に達し、そして第Ⅳ段階による冷却速度が小さ いものが望ましい。

以上の4段階は水や油などの場合に生じる現象であるが、空冷、塩浴あるいは金属浴では対 流段階のみで冷却される。本装置のように水の噴霧によって冷却される場合にはどのような冷 却形態をたどるのかを先ず十分調整する必要がある。

#### 2-5-2 鉄鋼材料の焼入れの基本

鋼材の焼入れの基本は言うまでもなく高温のオーステナイト領域に加熱して F.c.c 構造にし、 これを急冷して非平衡相であるマルテンサイト相にすることである。このためには加熱温度か ら約 500℃位までを「臨界速度」と呼ばれている速度以上の速さで冷却し、平衡相への変態を 妨げなければならない。一方、低温域では先ず表面部がマルテンサイトに変態する際の膨張と、 少し遅れて内部がマルテンサイトに変態する時の膨張の差による割れ(焼き割れ)が生じない ようにゆっくり冷却させなければならない。この領域は危険区域と呼ばれている。すなわち、 焼き入れにおいては、高温部は臨界速度以上の高速で冷却させ、一方、低温域でマルテンサイ トに変態する Ms 温度以下(危険区域)では割れや歪みを発生させないようにゆっくり冷却さ せなければならない。つまり次の3点が必要条件となる。

- (1) 焼き入れができて一定値以上の硬さが得られること。熱処理専業者が使用する場合にはあらゆる鋼種と製品の形状に対応できること
- (2) 焼き割れが発生しないこと
- (3) 焼き入れ後歪みが少ないこと
- 2-5-3 ミスト冷却実証炉の性能

平成 22 年 12 月以来整備してきた実証炉中のミストを噴出するノズルの仕様を表 2.5.1 に示 す。また、このノズルを装備したミスト冷却装置の内部の様子を図 2.5.2 に示す。

この装置を用いて、先ず、焼き入れ性が悪い(急速冷却しなければ「焼き」を入れることができない)S45C 材と、焼き入れ性が良い(冷却速度が比較的遅くても「焼き」を入れることができる)SCM435 材の φ 40×80mm について、それぞれの焼き入れ性を調査した。熱処理条件は、850℃で1時間真空加熱し、その後ミスト冷却を行った。表 2.5.2 に炉内におけるバスケットと、試料の設置位置を示す。表 2.5.3 にミスト冷却後の硬さ測定結果を示す。



表 2.5.1 ノズルの仕様

図 2.5.2 ミスト冷却装置内部の写真

	表 2.5.2	炉内におけ	るバスケ	ットと試料	の設置位置	
ŝ	試料No	25	26	27	28	2

SAEC	試料No	25	26	27	28	29
3450	配置位置	手前右上	手前左下	奥右下	奥左上	奥中央
COMADE	試料No	30	31	32	33	34
30101435	配置位置	手前左上	手前右下	奥左下	奥右上	手前中央

また、S45C 材と SCM435 材をジョミニー試験により焼き入れた時の硬さ特性を図 2.5.3 お よび図 2.5.4 に示す。焼き入れ操作ではこれらの図の最表面の硬さが得られなければならない ことになる。

試料(S45C)No.		No.25	No.26	No.27	No.28	No.29
=	1	15.1	10.6	10.9	15.4	14.6
	2	15.5	10.4	11.9	18.6	11.9
	3	15.3	11.2	13.1	17.0	15.1
試料(SCM435)No.		No.30	No.31	No.32	No.33	No.34
=====	1	50.4	36.4	43.2	50.5	51.1
	2	48.1	33.9	41.6	50.2	49.8
	3	50.9	35.9	43.2	48.8	50.9

表 2.5.3 ミスト冷却後の硬さ測定結果





図 2.5.4 SCM435 材のジョミニー試験結果

さて、表から明らかなように S45C 材では焼き入れ後の硬さは HRC10~19 と低く、焼き入 れることはできなかった。すなわち、現状のノズルを用いた場合、本装置の冷却能では S45C 材の φ 40×80 材を焼き入れることはできないことが判明した。一方、SCM435 材では、HRC34 ~51 が得られ大きくばらつきはあるものの 60 %の試料で HRC50 近くが得られ、現状のノ ズルを用いた場合、本装置の冷却能で焼きを入れられることが判った。なお、参考までに文献 から引用した S45C 材および SCM435 材の標準的な焼き入れ特性を図 2.5.5 および図 2.5.6 に 示す。



図 2.5.6 SCM435 材の標準的な焼き入れ特性

S45C 材に関しては前述したように、焼き入れて硬化させるためには根本的な改良が必要で あろう。SCM435 材については、焼き入れ硬さは標準値の範囲内の低い方に位置しているため、 850℃、1 時間の加熱では充分オーステナイトに変態していないのではないかと考え、次回の処 理からは、850℃、2 時間加熱後ミスト焼き入れを行うことにした。

### 2-5-4 SCM43 材のミスト冷却特性の基礎的調査

ミスト冷却特性の基礎的調査のための試料として、2-2,2-3,2-4 で述べた結果を参考に SCM435材の φ 40×40mm を用いることにした。試料の数は3段のバスケット内に計5個(2Kg) を図 2.5.7 に示すように設置した。加熱処理条件は850℃、2時間一定とした。ミストを噴霧し て冷却する時間は20、40、50 および60 秒間とした。その結果を図 2.5.8 に示す。



図 2.5.7 バスケット内の試料の設置場所

図 2.5.8 より焼き入れ硬さの値としては一部不十分であるが、SCM435 の $\phi$ 40×40mm、5 個 の場合には 50 秒間ミスト冷却を加えることにより、硬くて焼き割れの生じていない試料を得 ることができることが判った。



図 2.5.8 ミストの噴霧時間と硬さの関係

2-5-5 実機運転を想定した時のミスト冷却特性の基礎的調査

2-5-3 および 2-5-4 で延べた結果から、実機運転を想定した時の炉の処理容量に近い重量の 試料を用いたときの基礎的調査を行った。

(1) 炉の仕様

1回の処理量は270Kg

現在使用中のトレーの重量は 37Kg バスケット1 台の重量は 14.3Kg、3 台で 43Kg トレーとバスケット3 台の合計は 80Kg したがって、炉に装入できる製品の重量は 270Kg - 80Kg = 190Kg (2) 具体的な処理方法

一度に処理できる量は 190Kg であるので、その時 φ 40×40mm (400g)の試料を装入できる最 大数は 190Kg÷0.4Kg = 475 個。これを 3 台のバスケットに同じ数だけ入れると 1 台のバスケ ットには 475÷3=158 個設置できることになる。

一方、バスケットの内寸法は 420×710×80mm このバスケットに密に詰められる試料の数は 420÷40=10.5 → 10 個、 710÷40=17.8 → 17 個

1段のバスケットに最大限に詰めると3つのバスケット分の重量は

10×17=170 個、その時の隙間 1.8mm 、重量 204Kg

(一度に処理できる量は 190Kg であるのでこの量は処理不可能)

少し間をあけて数を減らすと

9×16=144 個、その時の隙間 5.4mm、重量 173Kg 8×15=120 個、その時の隙間 9.1mm、重量 144Kg 7×14= 98 個、その時の隙間 12.7mm、重量 118Kg 6×13= 78 個、その時の隙間 16.3mm、重量 94Kg 6×12= 72 個、その時の隙間 16.3mm、重量 86Kg 5×12= 60 個、その時の隙間 20.0mm、重量 72Kg

ミストを均一にかけるためには試料間にある程度の隙間が必要であると思われるが、工業的 には密に配置していても充分急冷できるような機能を備えていることが望ましい。現に水焼き 入れや油焼き入れでは、製品間にほとんど隙間が無い場合でも焼き入れは可能である。今回は バスケットの底のメッシュには凹凸があるため、試料の傾きによる試料間の接触を避けること を考慮し、1 バスケットに、6 列×12 列=72 個、3 つのバスケットで 216 個(86Kg)の試料を 装入することにした。5 個の試料は従来どおりの位置に設置し、他の 211 個はダミー試料とし て φ 40×40mm の SC 材を用いた。加熱処理は従来どおり 850℃、2 時間とした。ミスト噴霧の 時間は 24、12、6、3、2 および 1 分 30 秒間とした後直ちにミストをとめた場合と、1 分 30 秒 間全パワーでミストを噴霧した後直ちに六分の一のパワーのミストを 30 秒間噴霧した場合、 ならびに 1 分間全パワーでミストを噴霧した後直ちに六分の一のパワーのミストで 30 秒間噴 霧する方法を試みた。その後それぞれの焼き入れで得られた試料の硬さを測定した。

ミスト冷却中の試料の挙動を調べるために、炉ののぞき窓からミスト噴霧中の試料を観察した。試料を真空加熱室からミスト冷却室に移し、ミストを噴霧し冷却を開始し始めてから火色が消失する約550℃までの時間を測定すると、50~90秒であった。すなわち、本装置では臨界 区域の冷却速度は

(850-550) ÷50=6.0°C/秒

(850-550) ÷90=3.3℃/秒

平均すると 4.3℃/秒である。

ミスト冷却の場合、一般に4段階の冷却条件を経ず、一定の条件で冷却し続けると思われる。 ただ、冷却速度は低温になるほど冷却剤と試料の温度差が少なくなるので冷却速度は遅くなる であろう。

ミスト冷却後の試料の硬さ測定結果を図 2.5.9 に示す。各処理後の試料の硬さの平均値は HRC50 を超えている。試料間のばらつきはミスト冷却時間が長いほど大きい。ただ、多くの 試料に割れが発生した。図より焼き割れを防ぐためには、ミスト冷却時間を1分30秒以内に するというような真に微妙なコントロールが必要なようだ。



#### 2-5-6 焼き割れの発生とその場所

3 段のバスケットの中で焼き割れが発生した場所を図 2.5.10 に示す。今回対象にした処理数 は 14 回で、焼き割れが発生した試料の設置場所にその回数に応じて〇印をつけた。現状のノ ズルによるミストでは下段のバスケット内に割れが多いようである。また、図 2.5.11 には同様 の処理を加えた時に HRC50 以上の硬さが得られた場所に、その回数に応じて〇印をつけた。 図 2.5.10 および図 2.5.11 より当然のことながら割れの発生場所と HRC が 50 以上になる場所 はほぼ一致している。したがってミストを噴出するノズルの位置と方向を検討する必要がある だろう。ただし、バスケットには図 2.5.12 に示すように約 10mm の支柱がコーナー部や中心 部に組み込まれている。もしこの部分の上に試料が設置されていればミストのかかり方は減少 されるであろう。事実、試料の下面の硬さには大きいばらつきが存在する試料があった。ミス トのかかり方に及ぼすバスケットやトレーの支柱の影響についてはその後、継続的にチェック を行ったが、とくに支柱によるいちじるしい影響は認められなかった。これは本実験では支柱 類がすべて円柱形を用いているため、ミストの回り込みには大きく影響されなかったと考えら れる。すなわち試料硬さはノズルの方向性等の影響が大きいと考えられる。



図 2.5.10 各バスケットにおいて試料に割れが発生していた場所



図 2.5.11 硬さが HRC50 以上の試料が得られた位置



図 2.5.12 バスケットの支柱と試料の位置

2-5-7 ミスト冷却室の概略

これまでの実験で得られた結果では3段のバスケットのうち、下段のバスケットに入れた試料の「焼入れ」状態が悪かった。このため、上側のノズルの位置や数は大きく変化させずに、 もっぱら「焼入れ性」に対する下側のノズルの、噴射角、数、液量、試料までの距離等の影響 を調査することにした。

図 2.5.13 および図 2.5.14 にミスト冷却室内の概略を示す。図では試料との距離を近づける ために下ノズルに延長パイプを取り付けた時の略図を示している。試料との距離をさらに接近 させたいが、これ以上の延長は治具の都合で近づけられない。



図2.5.15はバスケット内に試料をセットした時の様子を示す。試料はミスト噴霧をした後1 時間後に取り出しているが、その時表面が濡れて冷たくなっている試料と、そのすぐ隣にあり ながら水で濡れていることも無く、未だ素手で触れないほど熱い試料がある。この現象は全て の処理に生じており、ミストがバスケット内に均一に行き渡っていないことを示すものである。 ただ、バスケット内に若干凹凸があるため、処理毎に全く同じ位置に試料を配置することが難 しい。したがって「均一性の再現」については今後さらに詳細に検討することが必要であろう。 しかし、これを解決し、工業的にはこのような「配慮」などがなくても、「どのような鋼種」で あっても、「どのような形状の製品」であっても、「誰でも」処理ができるようにしなければなら ない。



図 2.5.15 バスケット内の試料の配置状態

2-5-8 上下ノズルを変更させた時の冷却特性

3 段のバスケットにφ40×40mmの試料を合計、216 個装入し、上下に種々のノズルを用い て噴霧した時の各試料の焼入れ特性を調査した。

2-5-8-1 上ノズルを(30°, 8L) × 92 = 736 L

下ノズルを(15°, 12L) × 20 = 240 L

にして噴霧した時の硬さ特性を図 2.5.16 に示す。



図 2.5.16 下ノズルを(15°, 12L)×20=240Lにした時の硬さ特性

2 - 5 - 8 - 2

上ノズルを(30°, 8L) × 92 = 736 L 下ノズルを(180°, 40L) × 6 = 240 L にして噴霧した時の硬さ特性を図 2.5.17 に示す。



図 2.5.17 下ノズルを(180°, 40L) ×6=240 L にした時の硬さ特性

2-5-8-3 上ノズルを(30°, 8L)×51=408L 下ノズルを{(85°,60L)×4}+{(15°,20L)×5}=580L にして噴霧した時の硬さ特性を図 2.5.18に示す。



+{(15°,20L)×5}=580Lにした時の硬さ特性

 $2 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 4$ 

上ノズルを(30°, 8L)×58 = 464L 下ノズルを{(85°,60L)×8}+(15°,20L)×5}=580L にして噴霧した時の硬さ特性を図 2.5.19 に示す。



図 2.5.19 上ノズルを(30°,8L)×58=464L,下ノズルを{(85°,60L)×8} +{(15°,20L)×5}=580Lにした時の硬さ特性

2 - 5 - 8 - 5

上ノズルを(30°, 8L)×62 = 496 L 下ノズルを{(85°,60 L)×8}+{(30°,8L)×5}=520 L にして噴霧した時の硬さ特性を図 2.5.20 に示す。



図 2.5.20 上ノズルを(30°,8L)×62=496L,下ノズルを{(85°,60L)×8} +{(30°,8L)×5}=520Lにした時の硬さ特性

 $2 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 6$ 

上ノズルを(30°,8L)×62 = 496 L 下ノズルを(30°,8L)×32 = 250 L

にして噴霧した時の硬さ特性を図 2.5.21 に示す。



|2.5.21 上ノズルを(30°,8L)×62=496L 下ノズルを(30°,8L)×32=250Lにした時の硬さ特性

2-5-8-7 ノズルの選定

2-5-8-1 ~ 2-5-8-6 のようにノズルの変更を行った結果、上段と中段のバスケット内で HRC50 以上の焼入れ硬さを有する試料が比較的多く得られた。

下段バスケットではすべての試料で硬さが不足していた。いずれにしても、今回採用したノ ズルの能力では 3 段バスケットのすべての試料を規格のように焼入れることはできなかった。 これらの結果から、上、下ノズルに噴霧角を 30°や 15°のように狭くし、比較的粒径の大きい水 滴を強く噴霧する方が焼入れ性をよくする傾向が判った。図 2.5.22 に改良後の上下ノズルの外 観の一例を示す。



図 2.5.22 上、下ノズルの外観の一例

#### 2-5-9 ノズルの選択と噴霧時間の調整

これまでの調査で SCM435 材の場合、一度に多量の処理品を処理する場合、その焼入れ効果 をあげるためには、臨界区域の冷却速度をあげるためにまずノズルの角度を 30°にし、その数 を増やすことが望ましいことがわかった。しかし、従来の試験結果から、危険区域はゆっくり 冷却させる必要があることが判っているので、冷却ラインを 2 系統にし、そのうちの 1 系統は 比較的ゆっくり冷却できるように噴霧角 180°のノズルを設置しておいた。以上の「考え」に基 づき、つぎの噴霧条件で焼き入れ処理を行った。

2-5-9-1 ・ ラインI: 上ノズル 180° 40 L × 8 下ノズル 180° 40 L × 8 ・ ラインII: 上ノズル 30° 8 L × 62 下ノズル 30° 8 L × 32 + 15°20 L × 12

ラインⅡ60秒→ラインⅠ10秒→ラインⅡ10秒→ラインⅠ10秒にして噴霧した時の硬さ特性 を図 2.5.23 に示す。

10個の試料のうち4個の試料は硬さが不足しており、他の2個の試料にも試料の上下面で硬 さに大きな差が生じた。したがって臨界冷却速度をもう少し高める必要があると思われる。



2 - 5 - 9 - 2

・ラインI:上ノズル 180°40L × 8 下ノズル 180°40L × 8 ・ラインII:上ノズル 30°8L ×62 下ノズル 30°8L ×32 + 15°20L ×12

ラインⅡ90秒→ラインI10秒→ラインⅡ10秒→ラインI10秒にして噴霧した時の硬さ特性 を図 2.5.24 に示す。

中段のバスケット内の2個の試料の硬さが不足した。また、上下のバスケットの左奥の試料 には、常に試料の上下面の硬さに差が生じたり、硬さが不足気味になる傾向があるようだった。



2-5-9-3 ・ラインI:上ノズル 180°40L × 8 下ノズル 180°40L × 8 ・ラインII:上ノズル 30°8L × 96 下ノズル 30°8L × 44

ラインⅡ90秒→ラインⅠ10秒→ラインⅡ10秒→ラインⅠ10秒にして噴霧した時の硬さ特性 を図 2.5.25 に示す。

中段のバスケット内の1個の試料の硬さが不足した。また、下のバスケット内の1個に硬さ は充分であるが下の面に割れが発生していた。他の試料はいずれも満足できる硬さであった。



 $2 \cdot 5 \cdot 9 \cdot 4$ 

・ラインI:上ノズル 180°40L × 8 下ノズル 180°40L × 8
・ラインII:上ノズル 30°8L × 96

下ノズル 30° 8L ×44

ラインⅡ90秒→ラインⅠ10秒→ラインⅡ10秒→ラインⅠ10秒にして噴霧した時の硬さ特性 を図 2.5.26 に示す。

中段のバスケット内のメッシュを除去し、試料を全く入れずに、上下のバスケットにのみ試料を入れて処理した。下のバスケット内に1個硬さが不足した試料が存在すること、ならびに、 下のバスケット内に1個、硬さは充分であるが下の面に割れが発生している試料があった。他 の試料はいずれも満足できる硬さであった。



図 2.5.26

2 - 5 - 9 - 5

・ラインI:上ノズル 180°40L × 8 下ノズル 180°40L × 8 ・ラインII:上ノズル 30°8L ×62 下ノズル 30°8L ×32 + 15°20L ×12

ラインⅡ90秒→ラインI10秒→ラインⅡ10秒→ラインI10秒にして噴霧した時の硬さ特性 を図 2.5.27 に示す。

この処理は中段のバスケット内にのみ試料を入れて処理した。上下のバスケットはメッシュ をはずしフレームのみにしている。すなわち、炉の中央部に試料をおいた状態でミスト噴霧を 行った。1個の試料に焼き割れが生じたが、他の試料の硬さは HRC 50 を超え焼入れはできた。



2-5-9-6 噴霧条件のまとめ

2-5-9-1 ~ 2-5-9-5 で行ってきた調査結果より、臨界区域における冷却効果を上げるために は噴霧条件として

・ノズルの噴霧角度は狭くし、上下より噴霧するとともにその数を増やすこと

・危険区域の冷却速度を調整できるようにするため、冷却は2系統で行うこと

が焼入れ特性を向上させることが判明した。

そこで今後の実験ではノズルをつぎのようにすることにした。

- ・上ノズルを 80° 6.35 L × 96 + 30° 8 L × 2
- ・下ノズルを 80° 6.35 L × 44
- ・側面ノズルを左右で 180° 40 L × (16×2=) 32
- そして、噴霧条件として
  - ・ライン I として上ノズルと下ノズルを同時に噴霧する
  - ・ラインⅡ として側面ノズルからのみ噴霧する

試料はすべて従来通り SCM435 材で形状は φ 40×40 とする。

上ノズルの外観を図 2.5.28 に、下ノズルの外観を図 2.5.29 に示す。

2-5-9-7 ラインⅠ90 秒→ラインⅡ10 秒→ラインⅠ10 秒→ラインⅡ10 秒間噴霧

従来のように SCM435 材、φ 40×40mm 試料 10 個を 3 段のトレー(上段 4 個、中段 2 個、下 段 4 個)に置き、それらの間を試料と同じ形状のダミー試料である S45C、206 個で埋め、上記 の噴射条件で焼き入れを行った。焼き入れ後の硬さ測定の結果を図 2.5.30 に示す。



図 2.5.28 上ノズルの外観





10 個の試料とも HRC48 (1 個のみ)~59 と、硬さは目的硬さを得ることができたが、10 個 中 6 個に割れが発生していた。割れの発生は、硬さの値とは無関係のようで、HRC が 48~49 と今回の実験の中でもっとも低い硬さの試料にも割れが発生していた。割れは危険区域の冷却 が速いために生じるので、最初のライン II の冷却は 90 秒以内の噴霧だけで充分であると考え る。 2-5-9-8 ラインⅠ、Ⅱを同時に 90 秒→ラインⅡ 10 秒→ラインⅠ 10 秒→ラインⅡ 10 秒間噴霧

2-5-9-7 では SCM435 材を 10 個とダミー試料として S45C 材を 206 個,計 216 個を 3 段の トレーに分散させて処理していたが、今回はダミーを取り除いた 10 個の SCM435 材試料のみ について焼き入れ処理を行った。得られた結果を図 2.5.31 に示す。

この実験は、2-5-9-7 で述べたように 90 秒の噴霧より短い時間の噴霧で適当な硬さを得られることが判明しているので、ダミーがない時の挙動を確かめるために行ったものである。

硬さはすべて HRC 50 を超え、さらに HRC 57 材の試料も得られたが、3 個の試料に割れが 発生していた。今回の 2-5-9-7 と 2-5-9-8 の実験からは、焼き入れ処理の成功、不成功はダミ ー材の量、すなわち処理する量には関係がないことが判明した。



2-5-9-9 ラインI、Ⅱを同時に 90 秒間噴霧

そこで、ノズルの配置および試料の設置や数量は 2-5-9-7 と同様にして、ライン I と II を 90 秒間同時に噴霧して冷却させた。得られた硬さの測定結果を図 2.5.32 に示す。



下段のトレーの手前の試料1個のみの硬さが HRC50 に満たなかったが、他の試料はすべて HRC50を超えており、しかも全試料ともほぼ均一な硬さの試料を得ることができた。ただ、中 段の試料1個に割れが発生していた。したがって、90秒間の噴霧をもう少し短くした方がよい と考える。

## 2-5-9-10 ラインⅠ、Ⅱを同時に 60 秒間噴霧

そこで、ノズルの配置および試料の設置や数量は 2-5-9-7, 2-5-9-8 と同様にして、ライン I と II を 90 秒から 60 秒に短くして同時に噴霧して冷却させた。得られた硬さの測定結果を図 2.5.33 に示す。



2-5-9-8 と同様、下段右端の試料の硬さが不足していたが、他の試料は HRC50 以上(1 箇所 のみ 49)を得ることができ、しかも全試料とも割れは発生していなかった。ただ、HRC の値は 90 秒の噴霧に比べると 50 以上あるものの若干低くなっていた。下段右端の試料は 2-5-9-8, 2-5-9-9 の実験においてまったく同様の傾向を示しているので、この部分へのノズルの向きが 不適当であるのだろう。

2-5-9-11 ラインⅠ、Ⅱを同時に 60 秒→ラインⅡ 10 秒→ラインⅠ 10 秒→ラインⅡ 10 秒間噴霧

そこで、ノズルの配置および試料の設置や数量は2-5-9-7,2-5-9-8,2-5-9-9と同様にして、 噴霧条件のみ変更して冷却させた。

得られた硬さの測定結果を図 2.5.34 に示す。焼き入れた試料の硬さはすべて HRC51~57 の 範囲にあり、焼き割れもまったく発生していなかった。

この試料の配置および数量の場合、焼き入れはこの条件で行えばよい。



2-5-9-12 ラインⅠ、Ⅱを同時に 60 秒→ラインⅡ 10 秒→ラインⅠ 10 秒→ラインⅡ 10 秒間噴霧

2-5-9-11 の噴霧条件で、10 個の SCM435 試料すべてを、割れを発生させることなく焼き入れ処理ができることが判明した。そこで、つぎに S45C 製のダミーを取りはずして、SCM435 試料のみを上中下のトレーの各部にそれぞれ 20 個ずつ、合計 60 個設置し、焼き入れ処理を行った。その結果を図 2.5.35 に示す。





上段のトレーでは、20 個の試料のうち HRC50 以下の試料はなかった。しかし、割れが発生 している試料が7個あった。中段のトレーでは20 個の試料のうち、HRC50 以下の試料が1個、 そして割れが発生している試料は無く、下段のトレーでは20 個の試料のうち、HRC50 以下の 試料が4個、割れが発生している試料が6個あった。

したがって、焼き入れの「成功率」は

上段トレーで (20-7) ÷ 20 = 65%

中段トレーで (20-1) ÷ 20 = 95%

平均すると、焼き入れの「成功率」は70%であり、工業的には容認できる値ではない。さら に他の条件を検討しなければならない。

# 2-5-10 SCM435 材、 φ 20×200mm 試料の「変形度」測定試験

焼き入れ後の硬さ試験とともに、「変形度」について調査した。試験の方法は、メッシュをは ずした3段のトレーの上段トレーの底部から試料を吊り下げ、焼き入れ処理前後の試料の中央 部の「変形度(振れ)」をダイヤルゲージで測定している。

試料の設置状態を図 2.5.36 に示す。



図 2.5.36 「変形度(振れ)」試験用試験片の設置状態

2-5-10-1 ラインⅠ、Ⅱを同時に 60 秒→ラインⅠ10 秒→ラインⅡ10 秒→ラインⅠ10 秒間噴霧

ミストの噴霧条件は、SCM435 材および S45C の φ 20×200mm の各 1 本ずつについて試験を 行った。得られた結果を表 2.5.4 に示す。

S45C 材はすでに述べてきているように焼き入れできないので比較はできないが、SCM435 については焼き入れ後の変形度の増加はまったく見られなかった。

試料 No.	頑々 / UDC	変形度(振れ)/mm				
	we / IIIU	処理前	処理後			
SCM435	52.7	0.08	0.07			
S45C	10.9	0.04	0.17			

表 2.5.4 焼入れ後の硬さと変形度(振れ)

2-5-10-2 ラインⅠ、Ⅱを同時に 60 秒→ラインⅠ10 秒→ラインⅡ10 秒→ラインⅠ10 秒間噴霧

ミストの噴霧条件は 2-5-10-1 と同様で、SCM435 材の  $\phi$  20×200mm の試験片 4 本について 噴霧試験を行った。処理後の試料の外観を図 2.5.37 に示す。

吊り下げた試料の上方と、下方約30~40%との色彩の間に差が見られる。

また、表 2.5.5 に試験後の試験片上部と下部の硬さ、および、処理前後の「変形度(振れ)」 を示すが、色彩の差異とともに硬さの値にも差が表れている。

これらは、上部は焼入れされて硬化しているが、色彩の異なる下部は硬化していないことを 示している。すなわち、吊り下げている試料の下方にはミストが充分かかっていなかったこと を示している。



図 2.5.37 焼入れ処理後の外観

試料 No.	硬さ( <b>振飛C</b> )		変形度(振れ)/mm		
	上部	下部	処理前	処理後	
4	55.3	26.0	0.06	0.14	
5	54.7	27.2	0.04	0.09	
6	54.5	24.4	0.03	0.05	
7	56.0	28.2	0.01	0.22	
8	54.9	27.0	0.04	0.20	
平均	55.1	26.6	0.04	0.14	

表 2.5.5 焼入れ後の硬さと変形度

図 2.5.38 に冷却中の 3 段トレーと、吊り下げている試料の状態を図式的に示す。図面上では、 試料の下の方は一番下のトレー内には入っているが、この部分のミストの噴霧量が少なかった ために焼入れができなかったのである。しかし、 *φ* 40×40mm の試料ではこの部分でも充分焼 き入れができているので、「ミストの流れる方向」についてさらに解析が必要であろう。



2-5-11 冷却用送水管内の空気抜き弁取り付けとその効果

合同会議で、冷却能が芳しくない原因として、「冷却開始時に臨界区域を急速に冷却させるために必要なミストが、一気に噴射されないためではないか」との考察があり、ミストの噴射に 先立ち送水管内に溜まっている空気を抜き取る弁をつけることになった。空気抜き弁は図 2.5.39 に示すように、貯水タンクの上部と、冷却水を送るホースの最上部に取り付けられた。 この弁から配管内に溜まっている



図 2.5.39 空気抜き弁を取り付けた装置

空気が冷却水とともに配管の外へ排出されるようになっている。

この装置を取り付けた後、焼き入れ試験を始めた。しかし、ミスト冷却された試料の硬さは 従来と同様であり、とくに焼き入れ性は改善されることはなかった。

2-5-12 SCM 435 材、φ 20×200mm 試料の焼き入れ特性試験方法

SCM435 材の φ 20×200mm の試料を用い、焼き入れ特性について調査した。焼き入れ性は 硬さ測定で、また、焼き入れ後の変形度(振れ)についてはダイヤルゲージを用いて測定するこ とにした。

試験方法は底のメッシュをはずした 3 段のトレーを重ね、その上段トレーの底部から 20×200mmの試料を吊り下げた。そして、ミストを噴霧した後の試料の上部、中央部および下部 のそれぞれの硬さ測定と、焼き入れ処理の前と後について 200mm 試料の中央部の変位をダイヤ ルゲージで測定した。

試験機は(株)大菱計器製作所製の偏心検査機標準形 P No.2 である。図 2.5.40 にダイヤルゲージを取り付けた変形度測定用試験機の外観を示す。測定は、試料両端のセンター部を両側の円 錐治具に取り付け、試料を回転させながら中央部の最大変位をダイヤルゲージで読み取る方法 で行う。



図 2.5.40 焼き入れ前後の変形度(振れ)測定装置の外観

2-5-13 ミスト噴霧冷却特性におよぼす冷却室内の圧力と噴霧水圧の関係

SCM435の 20×200mm 試料を吊り下げ方式で加熱し、そのまま冷却室に移してミストを噴 霧し焼き入れを行った。冷却の条件は、先ず、冷却室内の圧力を 50KPa および 70KPa に変化 させ、それとともに冷却用噴霧水圧をポンプの電源をインバーターの周波数により変化させてい る。冷却室内のノズル等の条件はつぎのように従来どおりである。

#### 2-5-13-1 焼入れ硬さにおよぼす噴霧水圧の影響

図 2.5.41 に焼入れ硬さにおよぼす冷却室内の圧力と噴霧水圧の関係を示す。硬さの値は全200mm の試験片のうちの最高硬さをプロットしている。硬さは今回の実験範囲内では噴霧水 圧が高いほど大きく、また、冷却室内の圧力が高いほど大きくなる傾向を示した。また、噴霧水 圧は 70KPa では 50KHz でほぼ飽和し、50KPa では 60KHz でもなお上昇の傾向を示した。 60KHz は本装置での最高出力であるが、より高い冷却効果を期待して、本実験ではこの 60KHz の強度を採用することにした。


図 2.5.41 焼入れ硬さにおよぼす冷却室内の圧力と噴霧水圧(インバーターの周波数)の影響

2-5-13-2 焼入れ後の変形度(振れ)におよぼす噴霧水圧の影響

図 2.5.42 に焼入れ後の変形度(振れ) におよぼす冷却室内の圧力と噴霧水圧の関係を示す。変 形度は本実験範囲内では噴霧水圧が高いほど大きく、また、硬さと同様冷却室内の圧力が高い ほど、変形度は大きくなる傾向を示した。これが図 2.5.40 に示す焼入れ硬さ特性の挙動とよく 似ており、焼入れたときの硬さが高いほど変形度も大きいことが分かる。



2-5-14 SCM435 材、 20×200mm 試料のミスト噴霧条件と焼入れ性

SCM435 材の 20×200mm 試料を吊下げ方式で加熱し、そのまま冷却室に移してミストを噴 霧し焼入れを行った。冷却室内のノズル等の条件はつぎのように従来どおりである。

- ・上ノズルを 80°6.35L × 96 + 30°8L × 2
- ・下ノズルを 80° 6.35L × 44
- ・側面ノズルを左右で 180° 40L × (16×2=)32
- そして、噴霧条件を
  - ・ライン として上ノズルと下ノズルを同時に噴霧する
  - ・ライン として側面ノズルからのみ噴霧する

として、ライン,を同時に60秒→ライン 10秒→ライン 10秒→ライン 10秒間噴霧、を

採用した。

ミスト噴霧冷却にあたっては冷却水の噴射圧力をコントロールするポンプの電源をインバーター 方式で変化させるとともに、冷却室内の圧力を 30~80KPa に変化させた。そして、ミスト噴 霧の順序は従来どおりとし、最初のライン の噴射時間のみ 60~300 秒に変化させた。

現在までに得られている結果を表 2.5.6 に示す。表には試料の全長 200mm のうち、上、中、 下の各部分の硬さを測定した結果を示している。試料はバスケット内の各所に 5 本吊り下げて いるが、それらのうち硬さの評価として

HRC が 50 以上ある試料が1本でもあれば

HRC が 49~40 ある試料が 1 本でもあれば

HRC が 39 以下の試料の場合を×

として示している。

勿論、200mm の試料の上、中、下にすべて 印が付されていることが好ましく、また、当 然そうなるべきであるが、現時点では表のとおりである。とくに、V8 - 75 からは空気抜き弁 を取り付けてからの処理であるが、吊り下げた試料の縦方向の焼き入れ性は改善されていない。 また、先述のように試料は5本を吊り下げているが、1本でも上記の 、、、×に該当する試料 があればそれを判定基準としている。

表 2.5.7 にミスト噴霧冷却法で得られた — の試料と、八田工業㈱で使用している汎用 焼き入れ炉(V8-72 は雰囲気炉で加熱後油焼き入れ、V8-73 は真空加熱後油焼き入れ)で得ら れる試料の硬さと変形度(振れ)の具体的な値を示す。

汎用されている無酸化雰囲気炉および真空熱処理炉による冷却特性は後述でその詳細を示している。また、変形度(振れ)については焼き入れ処理前後の変化の「比」も示している。汎用炉では変形度(振れ)は焼き入れにより17.6~24.3倍に増加している。一方、ミスト噴霧冷却法では — ボ態と全長にわたり均一に焼入れられない場合は27.5~66.6ときわめて高いひずみを示す場合もあるが、 — 、 状態では、26.6倍と真空焼入れ炉を用いて加熱後、油焼入れした場合の24.3倍とほぼ同じひずみ量を示していた。

ミスト冷却法の目的は、すでに述べてきたように、処理後のひずみ量をすくなくすることが 第1の目的であり、さらに後処理の簡便さも重要な目的の1つである。ここでひずみ量がほぼ 等しい結果を得られたことは後者の目的がかなえられたことになり、ミスト冷却法が有効な処 理方法であることを示唆するものである。この実験は試料として 20×200mmの形状品を使用 しているが噴霧ノズルをさらに調整することにより、より低ひずみの処理を行うことができる ことは明白である。ただこのためには今までに述べてきたように各製品の材質、その形状、そ して炉内への設置状態に応じて最適となる条件を充分に把握しておく必要がある。

焼き入れ時に発生する歪の量は温度低下に伴う体積収縮のほかに、鉄鋼材料の場合にはその 変態に伴う体積変化が加わる。とくに冷却中にマルテンサイトに変態するときに生じる膨張は 焼き割れに関係する大きな問題である。したがって、高温における臨界区域での均一な冷却効 果とともに 250 前後におけるこの危険区域での冷却方法についても冷却の均一性とその速度 に関して充分な資料を得ておく必要がある。

処理 No.	インバータ	) (下下)	最初のミストの			-	試験条件
	问版奴	/ KF a	■貝材第11寸 11] / S	上	Ψ	<u>۲</u>	
V8-59	60	50	60	0		×	
60	60	50	60	0	×	×	
61	60	50	60	0	×	×	
62	60	50	60	0	0	×	
63	50	50	60		×	×	
64	40	50	60	0	×	×	
65	30	50	60		×	×	
66	60	50	60		×	×	
67	60	70	60	0		×	
68	50	70	60	0	0	×	
69	40	70	60	0		×	
70	30	70	60	0	×	×	
71	60	30	60	×	×	×	
72				0	0	0	C6 号炉で雰囲気油焼入れ
73				0	0	0	V1 号炉で真空加熱油焼入れ
74				×	×	×	V6 号炉で真空加熱ガス焼入れ
75	60	87	60	0	×	×	以下 エアー溜り改善
76	60	70	60	0	×	×	
77	60	50	60		×	×	
78	60	70	60	0		×	
80	60	70	180	0	0		
81	60	70	300	0	0		
84	60	70	240	0	0		
85	60	70	240	0	0	Δ	
87	50	70	120	0	0	0	

表 2.5.6 ミストの噴霧条件と焼き入れ性

		<u> 祝 2.0.7</u> 焼き八1							
		硬さ / HRC		変形度(振れ) / mm					
処理 No.	処理炉	上	中	न	処理前	処理後	処理後の平均	<sup>処理後</sup> / <sub>処理前</sub>	
V8-72	雰囲気炉	60	59	59	0.01	0.01			
	油焼入れ	59	59	59	0.01	0.20			
		59	59	59	0.01	0.57	0.282	17.6	
		59	60	60	0.02	0.22			
		60	59	60	0.03	0.41			
V8-73	真空炉	52	51	52	0.01	0.34			
	油焼入れ	51	50	52	0.01	0.19			
		52	52	52	0.01	0.47	0.340	24.3	
		52	52	52	0.02	0.40			
		52	52	52	0.02	0.30			
V8-80	ミスト	53	55	49	0.01	0.74			
	冷却炉	55	54	48	0.01	0.39			
		56	53	49	0.01	1.09	0.666	66.6	
		55	53	47	0.02	0.52			
		54	54	48	0.02	0.59			
V8-81	ミスト	53	50	42	0.01	0.33	0.975	97 5	
	冷却炉	55	52	45	0.01	0.22	0.275	21.5	
V8-84	ミスト	54	52	43	0.01	1.34			
	冷却炉	55	53	44	0.01	0.36	0.640	64.0	
		54	54	47	0.01	0.49	0.640	64.0	
		53	50	41	0.01	0.37			
V8-85	ミスト	54	53	45	0.02	0.91	0.905	60.2	
	冷却炉	54	54	48	0.01	0.90	0.905	00.5	
V8-87	ミスト	50	54	50	0.02	0.27			
	冷却炉	56	54	53	0.01	0.77			
		54	54	51	0.01	0.39	0.372 26.6		
		52	52	51	0.02	0.23			
		50	55	53	0.01	0.19			

表 2.5.7 焼き入れ硬さと変形度(振れ)

2-5-15 無酸化雰囲気加熱炉および汎用真空加熱処理炉による冷却特性

2-5-15-1 無酸化雰囲気加熱炉後油焼入れ

SCM435 材の 20×200mm 試料(試料 No.88~92)を吊下げ方式で無酸化雰囲気炉を用い 850 、2時間、加熱後油焼入れした。図 2.5.43 に炉の外観を示す。また焼入れ後の試料の上、 中、下部の各々の硬さおよび変形度を表 2.5.8 に示す。



図 2.5.43 無酸化雰囲気炉の外観

N.		HRC	変形度(振れ) / mm			
INO.	上	日	下	処理前	処理後	
88	59.7	59.3	59.1	0.01	0.20	
89	59.0	59.1	59.2	0.01	0.57	
90	59.1	59.0	59.1	0.02	0.22	
91	59.3	59.7	59.7	0.03	0.41	
92	59.5	59.1	59.6	0.02	0.49	
平均	59.3	59.2	59.3	0.02	0.38	

表 2.5.8 無酸化雰囲気炉加熱後油焼入れした試料の焼入れ特性

## 2-5-15-2 真空加熱後油焼入れ

SCM435 材の 20×200mm (試料 No.93~97)を吊下げ方式で真空炉を用い、850 、2 時間、 加熱後油焼入れした。焼入れ後の試料の上、中、下部の各々の硬さおよび変形度を表 2.5.9 に 示す。

No.		HRC	変形度(振れ) / mm		
	上	中	下	処理前	処理後
93	52.1	51.0	51.6	0.01	0.34
94	51.1	50.3	51.7	0.01	0.19
95	51.9	52.0	52.0	0.01	0.47
96	52.0	52.1	52.1	0.02	0.40
97	51.9	51.5	52.0	0.02	0.30
平均	51.8	51.4	51.9	0.01	0.34

表 2.5.9 真空加熱後油焼入れした試料の焼入れ特性

2-5-16 SUJ-2 材のミスト冷却性

これまで SCM435 材の 40×40mm について、これを適当に焼き入れるための「ミスト噴霧 条件」について検討してきた。そしてほぼ「妥当な条件」を把握することができたので、つぎ に熱処理を加えたのち使用される工業製品の材料である SUJ-2 材について、その「ミスト冷却 特性」を検討した。試料は SUJ-2 製で形状は 153× 120×H55mm の実用ベアリングである。 ミストの噴霧の条件は前項で述べたとおりである。試料の設置状況を図 2.5.44 に示す。噴霧冷 却後の硬さは上部で HRC 64.2,下部の HRC 43.1 が得られたが、3 個の試料とも縦横に大変大きな「割れ」が発生した。危険区域の冷却速度に問題があるためであろうが、新しい試料の場合、 鋼種、形状、大きさについて、それぞれ SCM 材で行ったことと同様の基礎的な「条件出し」実験を行う必要があると思われる。



図 2.5.44 SUJ2 のセット状況

## 2-5-17 SKH-51 材のミスト冷却特性

つぎに SKH-51 材について、その「ミスト冷却特性」を検討することにした。試料の上部に 吊り下げ用の穴を開けた 10×100の試料を作り、これを 850 で 30 分間、1050 で 30 分間、 さらに 1180 で 20 分間加熱後ミスト冷却を行った。その後 550 で 2 時間の焼き戻し処理を 行った。図 2.5.45 に治具に取り付けて吊り下げた試料の外観を示す。得られた硬さと振れ(変 形度)の測定結果を表 2.5.10 に示す。試料の硬さは HRC で約 59 であった。

この値は高いようであるが、SKH-51 材は 550 で焼き戻すと二次硬化をおこす材料であるの で、少なくとも HRC では 62~64 程度の硬さが期待される材料である。硬さが予想より低くな った原因については(試料が小さく焼き入れ温度が低くなり、充分焼き入れが行われなかった のではないかと考えられる)。振れ(変形度)については処理後増大していた。何れの試料にも試 料の縦方向に割れが発生しているので臨界域での冷却速度と共に危険域の冷却速度の調整を今 後行わなければならない。



図 2.5.45 SKH-51 のセット状況

試料	硬さ	振れ(変形度)			
No.	/ HRC	処理前	処理後		
1	58.9	0.04	0.27		
2	58.8	0.02	0.21		
3	58.9	0.05	0.13		

表 2.5.10 SKH-51 のミスト冷却試験後 の測定結果

## 第3章 最終章(全体総括)

## 3-1 研究成果について

金属材料の高機能化法として、熱処理法がある。熱処理の基本は、金属材料を高温に加熱することと、これを冷却することにある。なかでも冷却の過程は金属材料の高機能化、とくに鋼材にとってはもっとも重要な因子である。

金属材料の冷却方法には従来より、水、油、塩浴などの液体に浸漬する方法が用いられてお り、それぞれの方法は長所短所を有している。本研究では従来の方法とは全く異なる方法とし て水滴(ミスト)を用いた冷却を使用することにした。そして冷却過程について、その速度を自 由にコントロールすることにより、より高機能化を図るとともに熱処理工程の最大の問題点で ある変形量の低減を図ろうとした。

得られた研究結果は、処理方法を充分に検討すれば、当初の目的にかなう有効な技術である と考えられる。しかし、種々の材質、種々の形状をした製品を多量に処理しなければならない 八田工業㈱のような熱処理専業者にとっては、かなり多量のデーターの蓄積を必要としなけれ ばならないことも判った。

それとは別に、現装置では当初研究担当者達が予期し、また期待していたことがらに一部反 して、ミストは冷却室に均一に充満しにくく、冷却効果に対しては噴霧ノズルによる方向性が あることが判明した。この方向性を制御することができれば本装置は当初の目的を充分にまっ とうできると考える。

そもそも本装置は現在汎用されている雰囲気加熱や真空加熱後の油焼き入れ処理を簡易化さ せたり、種々の冷却特性をコントロールすることを目的としている。一方、冷却速度が油焼き 入れより遅いガス冷却炉では冷却効率が低いため、SCM435 材などでは焼き入れることができ ない。

そこで、汎用のガス冷却炉よりも冷却効果が優れ、しかも油焼入れのように「洗浄」という 後処理の必要が無いような処理法が望まれることになる。これらの要求とともに、熱処理の基 本の一つであるところの、歪量を低減させるような均一な冷却法も必須事項である。歪量を少 なくするためには、冷却媒体は必ず製品に対して周囲より均一に作用しなければならない。そ のための方策を今後検討する必要があり、これを成就させることができれば、ミスト冷却方式 は金属材料の冷却方法としてきわめて有効な処理方法であると考えられる。 3-2 今後の課題と事業化展開について

(㈱IHI 機械システムのスタッフをはじめとする八田工業㈱および 関西大学の研究担当者達 は、数年前より省資源、省エネルギー、特性改善、作業性改善等を目的として、熱処理工程に 水滴(ミスト)を利用する技術に注目し基礎的な研究を行ってきた。その結果、ジョミニー試 験を始め、冷却速度のコントロールなどにおいてその有効性を明らかにすることができた。本 研究はそれらの基礎的研究を工業的に応用できるように実証炉を作製し、各種金属材料の熱処 理に利用しようとすることを目的にして実施してきた。

得られた結果は報告してきたとおりであるが、それらを総括し、今後の課題と事業化展開に ついてまとめると次のようになる。

- (1) 現装置で量産化(通常の焼入れ処理)する場合、冷却室において焼入れ中の冷却液の昇温 をコントロールするための熱交換機はついてはいるが現状では冷却能力が不足している ため液温のコントロールを完全に行うことが難しく、昇温による弊害を招くおそれがある。 したがって冷却室を2重構造にするとともに熱交換機の充実をはかるように改造をする必 要がある。
- (2) 冷却室内全体にミストが均一に充満し、しかもそれらが充分に流動出来るようなノズルの設置や炉の構造に改善する必要がある。そのためには冷却室内へのファンの取付けやガスの流入によるミストの撹拌も1つの方策であろう。ただこれらの気体の流れは逆にミストの方向性を助長する可能性が生じるおそれがあるため今後充分な検討をする必要がある。
- (3) 冷却剤としては現在、純水と水道水の2種類を用い、それらによる焼入れ後の硬さと変 形度についての冷却特性を検討してきた。その結果、汎用真空油焼入れ炉とほぼ同様の性 能を得ることができた。しかし冷却剤のなかには最近優れた性能を有するものが開発され ているので、それらを使用して低ひずみ対策のより高いミスト冷却法を検討、開発する必 要がある。
- (4) 本研究開発事業の成果を挙げるため、八田工業㈱の営業活動を通じて、顧客にサンプルの提供を申し出てミストコントロール冷却法により熱処理を行った。

そして熱処理材の性能を種々の点から評価していただき、問題点については新たな課題 として取り組むことにより、ミスト熱処理技術の開発・発展とそれに伴う事業の拡大・発 展を図りたい。