



1 緒言

当社は既に述べたように、初代社長が、製鉄所における鑄型修理技術によって社業を興し、その特殊な技術による貢献は甚大であったと聞いている。

鑄型修理実験で成功した日（昭和27年6月15日）より、鑄型修理以外の分野の開拓にも努力していたところ、その約1年半後、昭和28年11月に八幡製鉄所に溶接指名業者として登録され、かねてから、溶接の真髓であると考えていたロール、ローラの分野の開発を手掛けることとなった。

当社は、当時から、鑄鉄の肉盛溶接が可能であれば、各種のロール、ローラの補修のニーズは極めて多いことを洞察しており、最も難しい肉盛溶接の一つであること、かねてより言われていた鑄鉄の溶接肉盛実験を試みることとなり、試験を重ねることによって成功に到達したのである。

この成功をもたらしたものは、適切な製造プロセスの選択であることは言うまでもなく、その着想の経緯には後続する我々も感心する点が多く当時の苦勞が偲ばれる。発明、発見には、卓越した着想と執念があればこそと察せられるが、今や世界的な複合材の製造プロセス、C.P.C法の発明においても同様であると感じられる。

C.P.C法と命名される以前は、肉盛溶接法の名称で呼ばれ、肉盛溶接法を基にして開発されたプロセスであることが窺える。その呼称の変遷には歴史があり、重みがある。C.P.C法とは、Continuous Pouring Process for Claddingの頭文字をとり、連続注入クラッド法を略した呼称である。このようなことから、C.P.C法は溶接と鑄造の特性を兼備したクラッド材の製造プロセスであるとも判断される。

C.P.C法の礎である高速肉盛溶接法から、技術的改善によって高速鑄掛け肉盛溶接法が生まれ、C.P.C法となった、その変遷について紹介する。

2 高速肉盛法からC.P.C法への変遷

高速肉盛溶接法の肉盛材は鑄鉄系と鋼系の2種類があり、その原理¹⁾は次のように示される。

2.1 鑄鉄の高速肉盛溶接

(1) 鑄鉄の多層肉盛溶接は各層の境界に硬化帯が発生するので、均一な硬度を得るには一層で肉盛を構成する必要があるため、一層の表面が未だ凝固しないうちに次の溶融層を肉

盛し、これを反復、繰り返して肉盛をする必要がある

(2) 溶融鑄鉄の高温において酸化、還元反応が同時に起きるのは鑄鉄内にはCが飽和状態まで含有されているためであり、この飽和状態のCが全ての酸化還元反応にかかわり、酸化物を還元する

2.2 鋼の高速肉盛溶接

(1) 鋼は自己脱酸力を持たないため、溶融鋼の表面は溶融さい（ノロ）を構成して、大気中の酸素と遮断する必要がある

(2) 溶融鋼は種々のガスを吸収しており、凝固する際にガスを吐き出すので溶融部の湯の流動性を良好にして大気中に逃がしてやらないと肉盛層内に巣が発生する

この原理に基づいて開発した肉盛溶接法が高速肉盛溶接法であり、高速肉盛溶接法が鑄掛け肉盛溶接法を産みこれこそが現在のC.P.C法のルーツである。鑄掛け肉盛溶接法は焼結塊破碎用鬼刃、受け歯の補修などに現在においても継続採用されており、次のような変遷によってC.P.C法として技術的に確立された経緯がある。

2.3 変遷

表-1に変遷を時系列的に並べ、その作業内容および、設備概要²⁾を示す。また、設備概要を図-1~10に示す。

2.4 各溶接法の特徴

各肉盛溶接法は肉盛金属の供給の形態、熱源などによって概ね5つの変遷があり、その特徴として次のようなことが挙げられる。³⁾

(1) 槽式縦式肉盛溶接法および、縦式自動回転降下式肉盛溶接法

両肉盛溶接法は肉盛金属に大径の鑄鉄溶接棒を用いていること、熱源として、溶接棒自体によるアーク熱および補助的な熱源として炭素電極棒アークを利用していること、また、砂枠内において、肉盛金属である外層材が形成されることが共通点である。

槽式縦式肉盛溶接法は後の肉盛溶接法に比べ、多くの人手を要し極めて非能率的で、作業者の熟練度が高度に必要であった。縦式自動回転降下式肉盛溶接法は槽式に比べ改善はされているが、同様に作業者の熟練度は高度に必要であった。

その後、肉盛金属に溶湯を用いた鑄掛け肉盛溶接法に移行するのである。

(2) 連続鑄掛け肉盛溶接法

溶湯を銅製の水冷ジャケット内の黒鉛モールドに注入す

ることおよび、熱源として炭素電極棒アークを利用していることが大きな特徴として挙げられ、飛躍的に技術的な改善が図れている。

(3) 自動制御式炭素電極アーク鋳掛け肉盛溶接法

自動制御の炭素電極のアーク熱を利用する方法で、母材の径および肉盛厚みによって炭素電極の配置数を決定する。

このままでは、熱源が点となることから、母材、耐火棒、水冷モールドを一体とした組み合わせ型を回転させることによって、アーク熱は円周方向において均一化される。当時は、エルー式電気炉にて所望成分組成材料を溶製し肉盛金属としており、本溶接法によって、さらに飛躍的に技術的な改善が図れている。

表-1 肉盛溶接法からC.P.C法への時系列的な変遷および、その概要

経緯	溶接法名称、作業内容および設備概要	図番
昭和34年7月	槽式縦式肉盛溶接 ① 鋳鉄大径溶接棒使用 ② 円形ビード棒 (砂棒) 継ぎ足し ③ 一層肉盛溶接 ④ 炭素電極棒アークによる熱補給 ⑤ 人力によるロールの回転 ⑥ 作業足場継ぎ足し上昇	1、2
昭和36年11月	縦式自動回転降下式肉盛溶接 ① 鋳鉄大径溶接棒使用 ② 半円形突き合わせ砂棒継ぎ足し ③ ロール自動回転上昇 ④ 作業位置地面	3
昭和40年11月	鋳掛け肉盛溶接 溶湯を砂棒内に注入	4、5
昭和42年1月	連続鋳掛け肉盛溶接法 ① 溶湯をモールド内に注入 ② 水冷式回転モールド ③ 銅製水冷ジャケット、黒鉛モールド使用	
昭和43年6月	自動制御式炭素電極アークによる鋳掛け肉盛溶接法	6、7
昭和44年12月	高周波誘導熱利用連続鋳掛け肉盛溶接法 (超高速鋳掛け肉盛溶接法) ① 高周波コイル内蔵耐火棒 ② 連続溶湯鋳込み ③ モールド回転なし	8
昭和48年	山陽工場竣工、本格的な設備設置、稼働開始	9
昭和51年	超高速連続鋳掛け肉盛溶接法をC.P.Cと命名	
昭和54年	C.P.C設備に予熱装置導入	
昭和55年	現在のC.P.C法の体系を確立 ① C.P.C法にガラスコーティング法の導入 ② 改良型芯出し装置の設置	10

備考：実用新案 第830886号 「縦式鋳鉄溶接および鋳掛け肉盛装置」
 第920270号 「肉盛溶接用中空水冷式回転冷却型」
 特許 第555715号 「回転降下式連続鋳込み肉盛溶接法」 発明協会長奨励賞受賞
 第552637号 「高周波電流を使用する連続肉盛溶接法」 発明賞受賞
 本特許は外国特許も取得
 アメリカ特許 第345372号
 イギリス特許 第1212689号
 イタリア特許 第819771号
 スウェーデン特許 第327058号

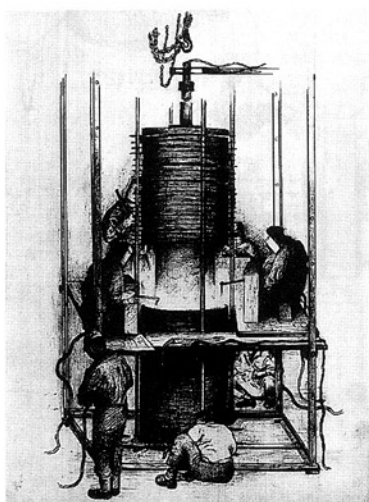


図-1 槽式縦式肉盛溶接作業

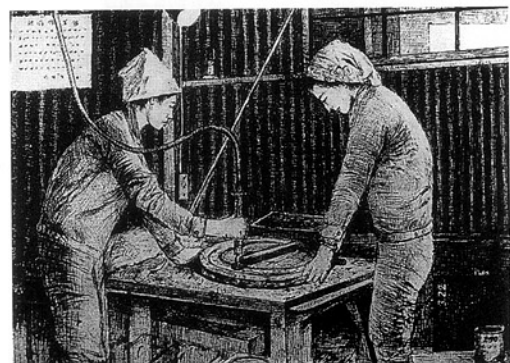


図-2 円形ビード棒砂詰作業

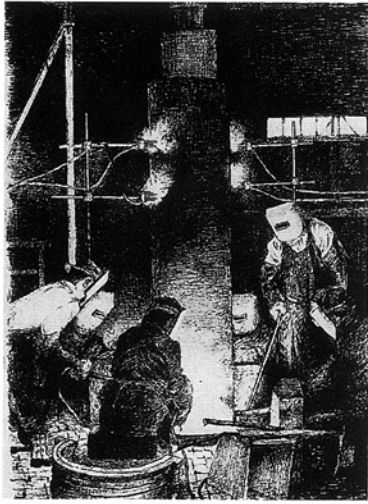


図-3 回転降下式肉盛溶接作業

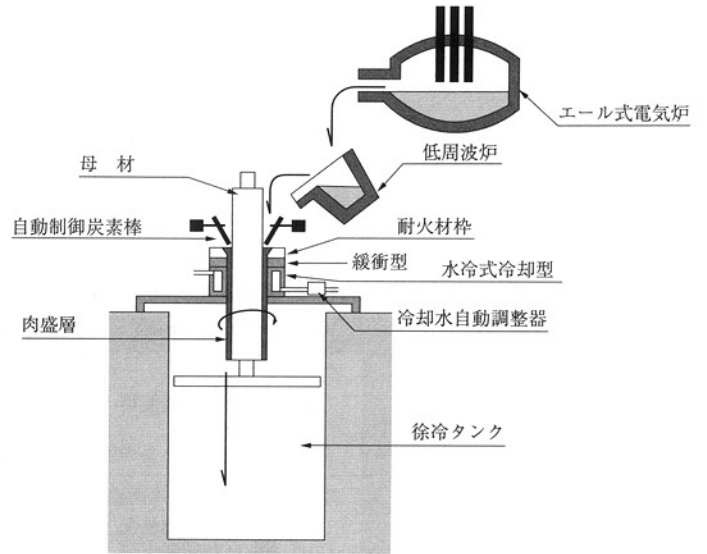


図-6 自動制御炭素電弧熱を利用する肉盛溶接法の概要図

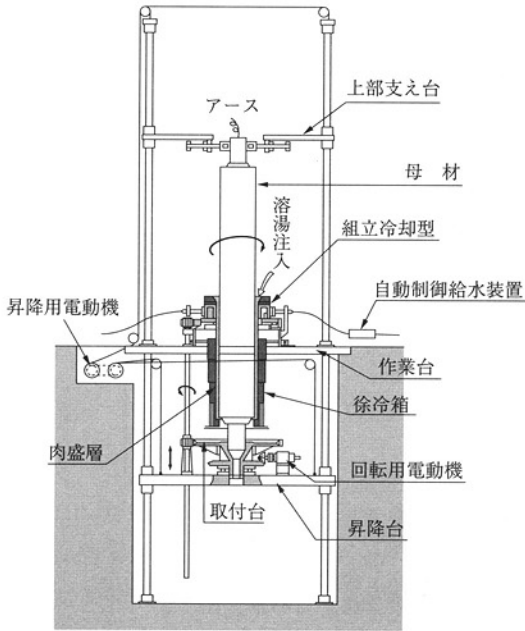


図-4 縦式肉盛溶接装置の概要図

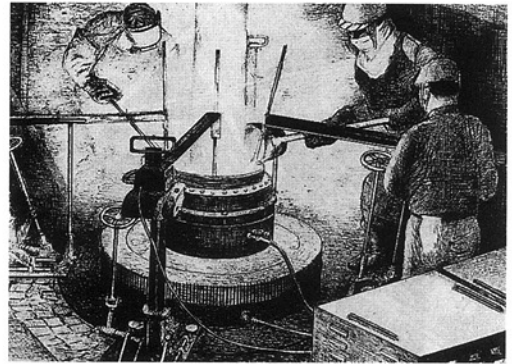


図-7 回転降下式自動アーク銑掛け肉盛溶接作業



図-5 回転降下式銑掛け肉盛溶接作業

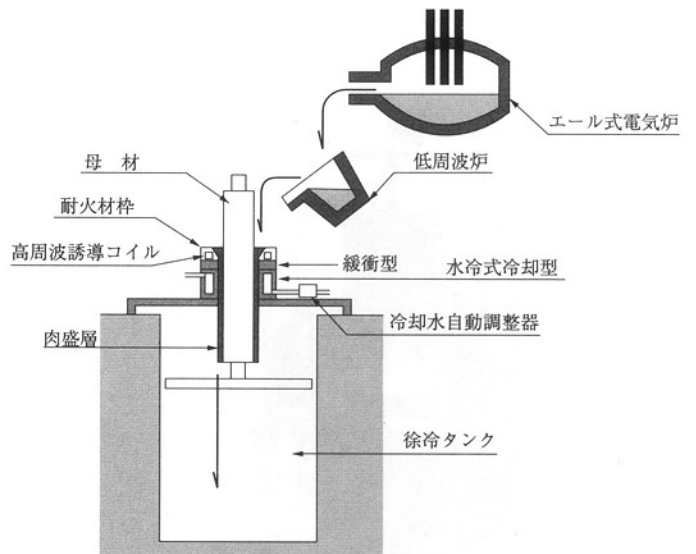


図-8 高周波誘導熱を利用する肉盛溶接法の概要図

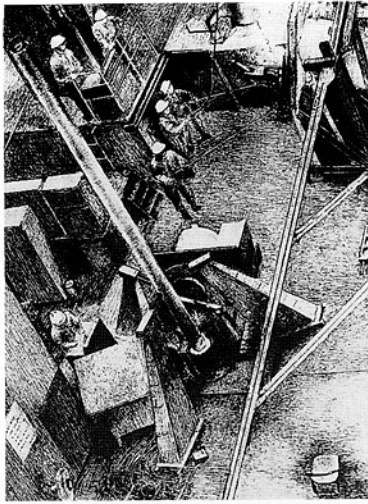


図-9 高周波使用の降下式連続鋳掛け肉盛溶接作業

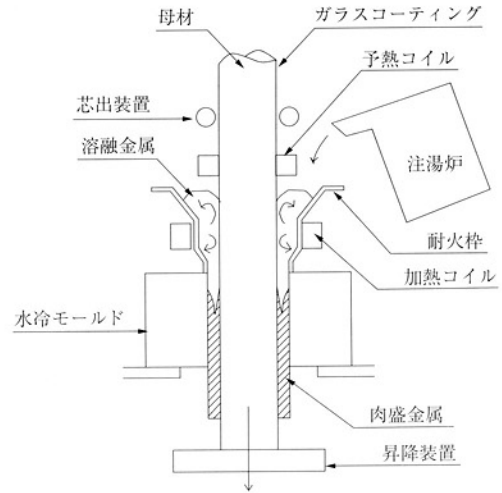


図-10 現在のC.P.C法の概要図

(4) 高周波誘導熱利用連続鋳掛け肉盛溶接法

高周波誘導熱によって溶湯を加熱しながら、母材と接合させる方法で極めて良好な品質で、高速肉盛が可能で大量生産に向けた肉盛溶接法である。耐火枠内に注がれた溶湯は高周波誘導加熱と同時に攪拌され、スラグなどの内部欠陥となりうる要因を浮上させることが可能である。このことが、大きな特徴の一つに挙げられる。当時もエルー式電気炉にて所望成分組成の材料を溶製し、低周波炉にて一定温度に保持しながら耐火枠内へ溶湯を連続的に注ぎ、断続的に引き抜くことで黒鉛モールド内において凝固シェルが形成され、肉盛溶接が進行するのである。高周波誘導加熱を利用することによって、さらに大きな技術的な改善がもたらされていることが認められる。

(5) C.P.C法については、現在のC.P.C法の項で説明する。

2.5 技術開発によって得られた成果の変遷⁴⁾

技術開発によって得られた成果の変遷について、ユニットロール(バレルサイズ、φ305×2100L) 補修例を表-2に示す。表に示すように、各比較項目において、飛躍的な進歩が窺える。

3 現在のC.P.C法について

3.1 C.P.C法の特徴および設備の概要

現在のC.P.C法の特徴は次のようである。

図-10に示すように、中実または中空の母材をモールドと同芯にセットし、モールドと母材との間にクラッドしようとする溶融金属を鋳込み、高周波の誘導加熱により母材に融接させながら断続的に引き抜き複合材を製造するプロセスである。母材の表面には予め、特殊なガラスのパウダーをコーティングしておき、母材が上部にセットしてある予熱コイルを通過する際にガラスが溶融軟化され、母材の表面を清浄化、活性化し、健全な接合部をもつクラッド層

表-2 技術開発によって得られた成果の変遷

比較項目	初期	中期		後期	
	昭和34年 ～昭和36年	初 昭和36年 ～昭和40年	終 昭和40年 ～昭和43年	初 昭和43年 ～昭和44年	終 昭和44年 ～昭和48年
方法	槽式縦式肉盛溶接法	縦式自動回転 肉盛溶接法	鋳掛け肉盛溶接法	自動制御式炭素 電極アークによる 鋳掛け肉盛溶 接法	高周波誘導加熱 利用連続鋳掛け 肉盛溶接法
肉盛材重量(kg)	510	478	326	274	274
肉盛材の 肉盛重量(kg)	277	277	277	238	238
肉盛材の 歩溜り(%)	54	58	85	87	87
溶接所要時間(h)	34	13	3.5	1.5	1
所要工数	78	33	12.5	6.3	3
製品歩溜り(%)	60	75	80	91	98
作業者に要する 技能の熟練度	極めて必要	極めて必要	少々必要	不要	不要

を構成することができる。C.P.C法に代わる以前と同様に、C.P.C法は一層肉盛であるため熱の集中度が極めて小さく、従来の溶接肉盛法（アーク溶接など）では不可能であった材質、例えば過共晶材などのクラッドも可能であり、肉盛金属が高カーボン材ほどやさしい組み合わせとなっている。また、予熱電源の設置およびガラスコーティング法の採用により、鋼を母材として鋼をクラッドする組み合わせにおいても品質の安定性が飛躍的にアップしている。

高周波誘導加熱を利用して以来、現在のC.P.C法は当時と比べて次のような大きな違いがある。

(1) 溶湯の中へ入る母材表面を予熱する予熱コイルを有していること

(2) 母材の表面には特殊なガラスのパウダーがコーティングされていること

C.P.C法によるクラッド材の外層材および境界部には次のような特徴がある。

(1) モールド側からの凝固シエルの発達が支配的で一方方向からの凝固組織である

(2) 凝固組織が従来の溶接肉盛法と同等に微細で、優れた機械的性質を有す

(3) 境界部を中心にした引張試験において、境界層からの剥離は発生せず、内外層のいずれか材力の劣る方で破断し、接合強度は大きい

(4) 境界部における内外層材の化学成分の遷移層が微小で、拡散層の影響が全くない

(5) 一層肉盛であるため、肉盛金属内における特性の変化が微小である

表-3 C.P.C設備の概要

ライン数	A、B 2ライン切り替え使用	
溶解炉	800kg 炉×2基 /ライン	
注湯炉	200kg × 1基 /ライン	
加熱電源	1基 920kW	A、B 2ライン 切り替えて使用
予熱電源	1基 600kW	
昇降装置	1基 /ライン	

表-4 製造可能な形状および材質

製品の外径 (mm)	φ 100~780
製品の長さ (mm)	Max. 8,000
製品の重量 (kg)	Max. 15,000
肉盛厚み (mm) (実績)	中空母材：15~85 中実母材：20~130
母材材質	普通鋼 特殊鋼（強靱鋼など）
肉盛材質	鋳鉄、特殊鋳鉄 特殊鋼 ステライト等の非鉄材料

C.P.C設備の概要を表-3、製造可能な形状および材質を表-4に示す。また、C.P.Cの状況を図-11に示す。

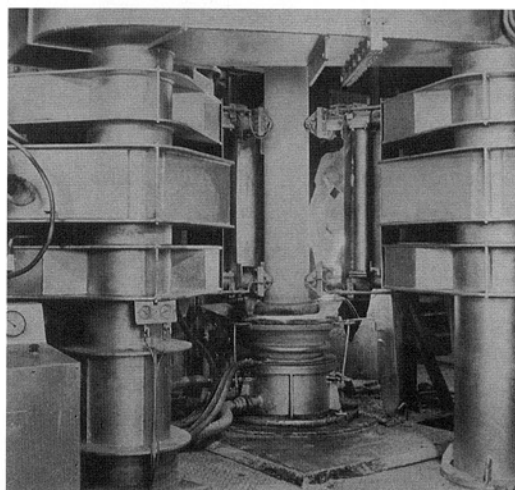


図-11 C.P.Cの状況

3.2 他の代表的なクラッド材の製造法との特性比較⁵⁾

C.P.C法は他の製造法との特性の比較を表-5に示すように優れた特性を有し、高能率のクラッド材の製造プロセスである。

表-5 他の代表的なクラッド材の製造法との特性比較

肉盛法	C.P.C法	サブマージドアーク 溶接法	エレクトロスラグ 肉盛法
熱源	誘導熱	アーク熱	ジュール熱
溶接材	熔融金属	溶接ワイヤー	溶接ワイヤー
肉盛方法	単層肉盛	多層肉盛	単層肉盛
肉盛材の範囲	非常に広い	狭い	広い
硬さムラ	少ない	多い	少ない
肉盛速度	1,000kg/h	10kg/h	100kg/h

3.3 C.P.C法による製品例

現在のC.P.C法による主要な製品は製鉄所における熱延ラインの搬送ローラ、コイラーロールであり、最近ではワークロールも手掛け徐々に拡販が図れている。中でも、熱延ランナウトテーブルローラは、国内外の製鉄所に広く採用されており、使用特性において優れた耐焼き付き性、耐磨耗性を有し高い評価を受けている。

ワークロールについては、薄板のみならず形鋼の分野においても進出し優れた特性が確認されつつある。

代表的なロール、ローラに適用している外層材およびその構造について表-6に示す。

各種のロール、ローラの代表的な構造を図-12に示す。

表-6 代表的なロール、ローラ材と構造

ロール、ローラの種類	外層材	構造
熱延粗テーブルローラ	6~13%Cr鋳鋼	直盛タイプor スリーブ焼嵌めタイプ
熱延ランナウト テーブルローラ	高Cr~高V系特殊鋳鉄	中空ハブ軸嵌合タイプ
熱延コイラーロール	7%Cr鋳鋼、 高耐食性ハイス	直盛タイプor スリーブ焼嵌めタイプ
熱延ワークロール	高炭素ハイス	直盛タイプ
形鋼ワークロール	高炭素ハイス	直盛タイプor スリーブ焼嵌めタイプ

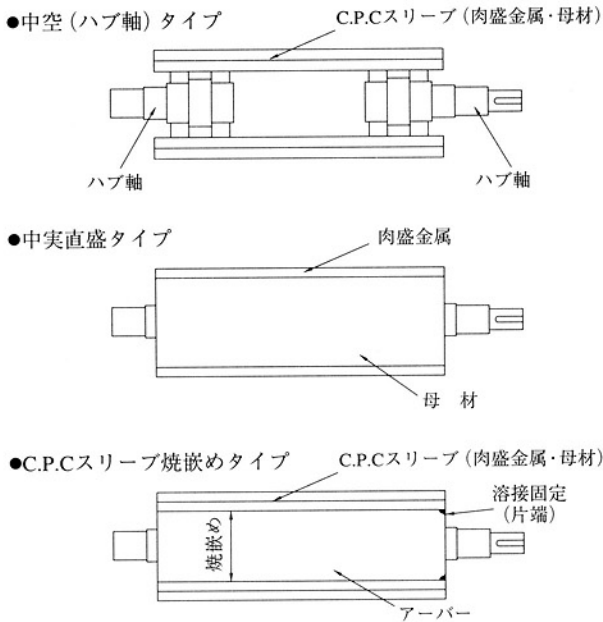


図-12 C.P.C製ロール、ローラの構造

4 まとめ

C.P.C法は当社が開発した。このプロセスは世界中で他に類を見ない画期的なオリジナル技術であり、我々の誇りとするものである。基本技術の連綿とした変遷の底流には開発精神に溢れた着想と実験の積み重ねがある。

C.P.C法の基本技術がほぼ確立した後も、その工業的実用化のためには一つ一つの治工具、個々の作業に至るまで数々のノウハウが込められている。C.P.C法は、特性の優れたクラッド材の製造法として、国内外に注目されている。この特殊な技術をブラッシュアップすることによって、C.P.C法の適用を拡大したいと考えている。

ロール、ローラにおいても顧客のニーズに合わせた使用特性の向上を図る所存である。

また、ロール、ローラ以外にも目を向け、高機能材料が求められる時代の中でC.P.C法のさらなる発展を期したい。

参考文献

- 1) 「二十年の歩み」：(株)富士工業所編(1975), p.163
- 2) 同上, p.175
- 3) 同上, p.165
- 4) 同上, p.177
- 5) 同上, p.114

