
転炉機械設備の長寿命化技術の進歩

Recent Progress in Extending Service Life of Mechanical Equipment for Converters

樋口 和也(Kazuya Higuchi) 渡辺 己喜男(Mikio Watanabe) 佐藤 裕二(Yuji Sato)
市原 晃(Akira Ichihara) 大西 廣(Hiromu Onishi) 玉田 滋基(Shigeki Tamada)

要旨：

川崎製鉄では、LD 転炉が稼動して以来、多くの設備改善をし、転炉機械設備の寿命を大幅に延長してきた。しかし、近年のマグネシヤカーボン系耐火物の採用による炉体熱負荷の増大および上底吹き転炉の採用による炉体振動の増大が、転炉機械設備の寿命を再び短くする原因となってきた。これら機械設備の短命化に対処するため、炉体の変形および亀裂の解析技術、炉体振動の評価技術および亀裂の診断技術を確立した。これにもとづき、炉体の冷却方法および亀裂の補修方法を確立した。さらに炉修時間の短縮を可能にする転炉軸受の迅速交換技術を確立した。

Synopsis：

Since the start up of our LD-converters, the service life of their mechanical parts has been increased by many improvement activities. However adoption of MgO-C bricks for barrel refractory and introduction of the top-and bottom-blown converter have recently caused a decrease in the life of mechanical parts for the converter. While the former cause raises the temperature of shell, the latter increases the vibration level of the converter vessel. In order to cope with the short life tendency of the mechanical parts, the analytical technique for shell deformation and cracking, evaluation technique for vessel vibration and diagnostic technique for crack propagation were examined, and according to these techniques, appropriate vessel-cooling and vessel-repairing methods to prevent crack propagation have been established. Furthermore, a quick exchanging method of converter bearings that realizes reduction in the furnace repairing time has been completed.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Recent Progress in Extending Service Life of Mechanical Equipment for Converters



樋口 和也
Kazuya Higuchi
千葉製鉄所 保全部保
全技術室 主査(掛長)



渡辺 己喜男
Mikio Watanabe
千葉製鉄所 保全部保
全技術室



佐藤 裕二
Yuji Sato
千葉製鉄所 保全部保
全技術室



市原 晃
Akira Ichihara
千葉製鉄所 保全部保
全技術室 主査(課長)



大西 廣
Hiromu Onishi
水島製鉄所 設備部製
鋼・厚板整備課 課長



玉田 滋基
Sigeki Tamada
水島製鉄所 設備部設
備技術室

1 緒 言

当社は、1962年に千葉製鉄所の第2製鋼工場に第1号のLD転炉を導入して以来、15年間で千葉および水島両製鉄所に合計13基の転炉を導入した。とくに、1977年の世界最大級の230t Q-BOPの導入は、その後の上底吹き転炉の新しい操業技術の開発・発展^{1,2)}につながった。

この間、転炉機械設備の長寿命化を目的として多くの設備改善を実施し、寿命を大幅に延長させ今日に至っている。

しかし、近年のマグネシウム系耐火物の採用により、炉体の熱負荷は増大し、炉体の変形および亀裂は転炉機械設備の寿命を再び短くする主要原因となっている。

一方、上底吹き転炉では従来の上吹き転炉に比べ炉体振動が大きくなり、その結果、炉体支持系の強度問題が転炉機械設備の寿命を支配する主要因となってきた。

これら現象を定量的に把握し、抜本的な対策となる長寿命化技術を確立し、大幅な寿命延長を図ることができた。これら長寿命化技

要旨

川崎製鉄では、LD転炉が稼働して以来、多くの設備改善をし、転炉機械設備の寿命を大幅に延長してきた。しかし、近年のマグネシウム系耐火物の採用による炉体熱負荷の増大および上底吹き転炉の採用による炉体振動の増大が、転炉機械設備の寿命を再び短くする原因となってきた。これら機械設備の短命化に対処するため、炉体の変形および亀裂の解析技術、炉体振動の評価技術および亀裂の診断技術を確立した。これにもとづき、炉体の冷却方法および亀裂の補修方法を確立した。さらに炉修時間の短縮を可能にする転炉軸受の迅速交換技術を確立した。

Synopsis:

Since the start up of our LD-converters, the service life of their mechanical parts has been increased by many improvement activities.

However, adoption of MgO-C bricks for barrel refractory and introduction of the top-and bottom-blown converter have recently caused a decrease in the life of mechanical parts for the converter. While the former cause raises the temperature of the shell, the latter increases the vibration level of the converter vessel.

In order to cope with the short life tendency of the mechanical parts, the analytical technique for shell deformation and cracking, evaluation technique for vessel vibration and diagnostic technique for crack propagation were examined, and according to these techniques, appropriate vessel-cooling and vessel-repairing methods to prevent crack propagation have been established.

Furthermore, a quick exchanging method of converter bearings that realizes reduction in the furnace repairing time has been completed.

術のうち、炉体振動の評価技術³⁾等発表している技術もあるが、本報告では、炉体冷却方法、炉体亀裂の診断技術および補修方法を中心に炉体の構造解析および炉体技術についてまとめた。さらに、炉修時間の短縮を目的とした、転炉軸受の迅速交換技術についても述べた。

2 長寿命化のための施策

当社は、転炉導入以来、その機械設備の長寿命化を目的に数多くの設備改善を実施している。主要な点を挙げると、(1)炉体鉄皮材質の変更、(2)炉体冷却の採用、(3)防錆カバーの採用等である。これらの改善はFig. 1に示すように、順次実施したものである。

数多くの改善により、転炉機械設備の寿命は大幅に延長したが、

* 昭和62年10月22日原稿受付

現在でも寿命を支配する要因は、炉体の変形や亀裂である。変形および亀裂の発生機構の推定を Fig. 2 に示す。変形は主にトランスオンリングに蔽われている炉体腹部に発生する。これは熱負荷の増大した鉄皮に発生する熱応力と、その鉄皮に作用するレンガの張出し力によるクリープ変形と考えられる。熱負荷の増大は、とくに、近年の熱伝導率の高いマグネシウムカーボン耐火物の採用と、トランスオンリングによる鉄皮からの熱放射の抑止とに起因する。その他にステンレス鋼の吹練、Tap to Tap の短縮およびホットスポット等がある。

亀裂は主に炉体支持リングと鉄皮あるいはリブと鉄皮の溶接部に発生する。この部位は鉄皮の熱膨張が拘束されているため操作中に発生する熱応力が大きく、変形と同様に熱負荷も増大しているため局部的に塑性変形が起りやすい。したがって、炉修等の鉄皮を冷却した時点では残留応力が発生する。亀裂は操業と炉修等すなわち熱応力の繰り返しにより、やがては疲れ限度に達して発生すると考えられる。疲れ限度を低下させる要因として継手形状の不具合および溶接部の残留応力がある。

転炉機械設備の長寿命化を図るには、まず熱負荷を定量的に把握

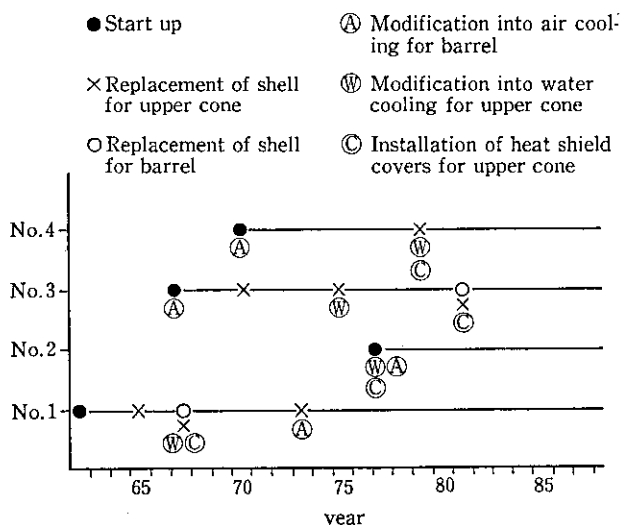


Fig. 1 Actual results of replacement and modification for converter shells

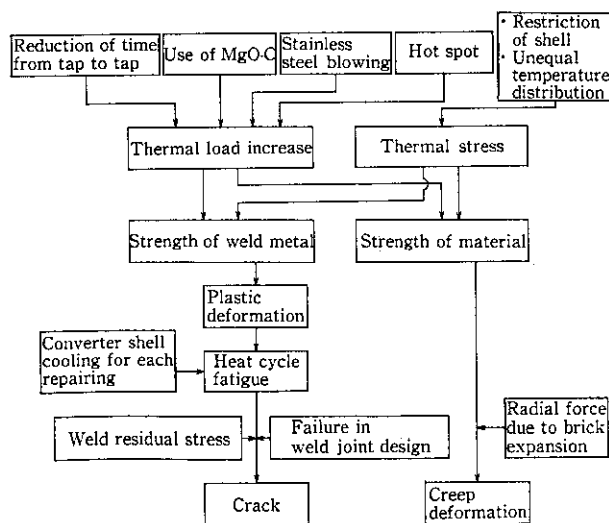


Fig. 2 Mechanism for cause of shell deformation and cracks

し軽減する技術および亀裂の状態を診断し適切な補修を行う技術の確立が必要である。

一方、近年転炉の主流は LD 転炉から上底吹き転炉にかわり各社で稼働している。この上底吹き転炉は、ガス底吹きによる攪拌力で炉体振動が従来の転炉に比べて大きくなり、その結果、炉体支持系の強度問題が寿命を支配する主要因の1つとなってきた。したがって炉体振動を定量的に把握し評価し、対処することが重要な課題となってきた。

3 炉体の構造解析と振動解析・評価技術

3.1 炉体の構造解析

炉体鉄皮の変形や亀裂の防止対策を考える上では、炉内からの熱的な影響を定量的に把握する必要がある。ここでは FEM(有限要素法)を用いて、炉体鉄皮の変形の解析をした例を述べる。解析のフローは Fig. 3 (プログラムは MARC) に示すごとく、伝熱解析と応力解析の2つに分けられる。伝熱解析では、転炉内部の温度が原料投入から出鋼までの間で変化すること、最高温度が 1700°C 前後と高いことから、次のように条件を設定した。

- (1) 境界条件はサブルーチンを用いて時間とともに変化させた。
- (2) 熱伝導率は対流と放射の双方を考慮した。
- (3) 物性値は温度依存性を考慮した。

また応力解析では次のように条件を設定した。

- (1) 荷重条件は温度の他にレンガの熱膨張の影響を考慮し、鉄皮へ作用する内圧として扱った。その値はギャップ要素を用いたモデルで解析した結果から算出した。
- (2) 自重は田中ら⁹⁾の解析では影響が小さいため無視した。
- (3) 物性値は温度依存性と応力依存性を同時に考慮した。

応力解析の順序は、先に弾塑性応力解析をした後、クリープ解析をした。クリープ解析では、クリープ速度はサブルーチンを用い、基礎となる式は(1)式とした。すなわち、Norton 則を温度と応力との関数として用いた。

$$v = A\sigma^n$$

$$= f(\theta, \sigma) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 v : クリープ速度 (h^{-1})

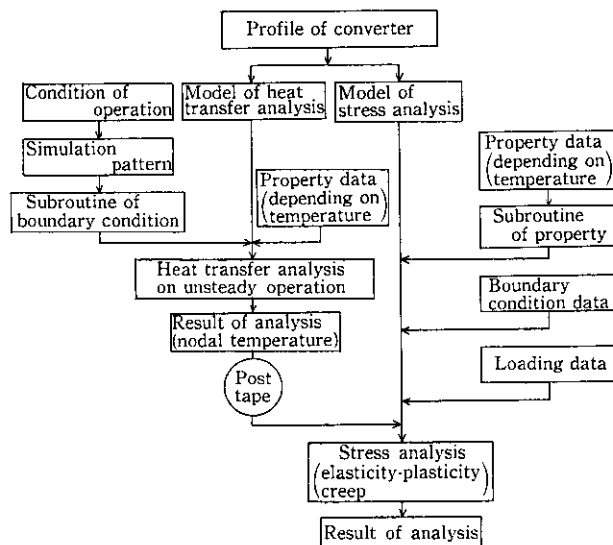


Fig. 3 FEM analysis flow

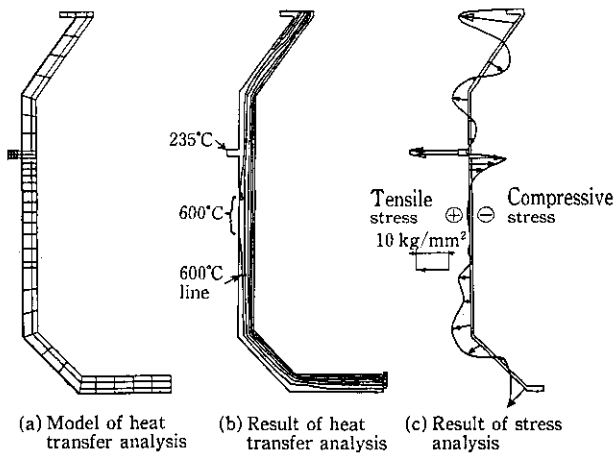


Fig. 4 Example of FEM analysis

- A: 材料定数
 σ : 応力 (kg/mm²)
 n : 材料定数
 θ : 温度 (°C)

解析結果を Fig. 4 に示す。解析結果は、実炉における温度、変形の状態ともよく一致した。

また、鉄皮の亀裂もほぼ同様な解析手法であるが、亀裂の場合は、炉体が高温の状態よりも、むしろ常温に冷却されたときに問題となる。すなわち、鉄皮が高温域で塑性変形した後の、常温での残留応力が大きいことが問題である。亀裂の進展速度はシャルピー衝撃試験での吸収エネルギーの値が小さいほど大きく、一般的にその傾向は温度が低いほど著しいことによる。したがって、応力解析としては事前の伝熱解析が常温→高温→低温と変化する場合の解析をする必要がある。これらの解析結果を基に、4章で述べる炉体冷却方法を確立した。

3.2 炉体の振動と評価

上底吹き転炉では従来の上吹き転炉に比べて炉内の溶鋼攪拌が強化され、冶金特性が向上した反面、炉体振動が大幅に増加し、炉体支持系の強度問題や、吹錬中止例も見られるようになった。この炉体振動の新しい評価法の構築と炉体変位の推定式の導出については詳しく報告³⁾されているが、要約すると次のとおりである。炉体変位の推定式は(2)式で示される。

$$X \propto \eta_1 K^{-1} W H Q^{1.5} \dots \dots \dots (2)$$

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_7$$

ここで、

- X: 炉体変位
 K: 炉体支持系バネ定数
 W: 溶鋼の重量
 H: 溶鋼深さ
 Q: 底吹ガス量
 η_1 : スクラップ比による影響係数
 η_2 : 副原料の初期投入による影響係数
 η_3 : スラグ性状による影響係数
 η_4 : 底吹きガスの非対称ガス流れによる影響係数
 η_5 : 炉底形状による影響係数
 η_6 : 上吹きガスの存在による影響係数
 η_7 : 羽口配列による影響係数

Table 1 に各影響係数の値を示す。

Table 1 Range of value of affecting coefficients

Affecting coefficient		Range of value
η_1	Scrap ratio	$\eta_1 = -0.02S_R + 1.0$
η_2	Charging of sub-material at the early stage	1.0~1.6
η_3	Slag properties	0.7~1.0
η_4	Unsymmetrical flow of bottom blown gas	≥ 1.5
η_5	Shape of bottom part of vessel	0.7~1.0
η_6	Existence of top blown gas	0.8~1.1
η_7	Arrangement of tuyeres	≥ 2.0

Noto (1) S_R : Scrap ratio (%)

得られた結果を以下に示す。

- (1) 炉体形状、羽口条件および操業条件から、炉内に発生する振力および吹錬時の炉体変位を予測できる。
- (2) 実操業条件から炉体支持系に作用する振動荷重を推定することにより、設備の安全性を評価できる。
- (3) 設備容量が不足する場合は、許容できる操業条件を求めることができる。

この式を用いて数ケースの操業について安全性を評価した結果、炉体支持系に異常を発見し、これに対処した。

4 炉体冷却方法

4.1 炉体冷却の特徴

炉体鉄皮の熱負荷は、炉体構造や耐火物の溶損等から、その部位により異なる。したがって、冷却方法も異なり、大別すると炉体上部(炉頂、円錐部)および炉体腹部(直胴部)に分類される。

炉体上部は、さらに、スロッピング等炉内からの熔融噴出物の付着および堆積、出鋼および排滓時の炉下からの放射熱などにより、熱的に過酷な条件下にある。Fig. 5 に示す炉体上部は、まず炉口金物の長寿命化と熔融噴出物の付着防止を目的に水冷化を図り、次いで炉口フランジの水冷化、円錐部の水冷化を図った。さらに冷却配管を保護する防滓カバーを設置した。

炉体腹部は、とくにトランシオンリングで蔽われた部位が他の部位に比べて変形速度が大きい。これはトランシオンリングが、鉄皮からの熱放射を抑制して、鉄皮の熱負荷を大きくしているためである。

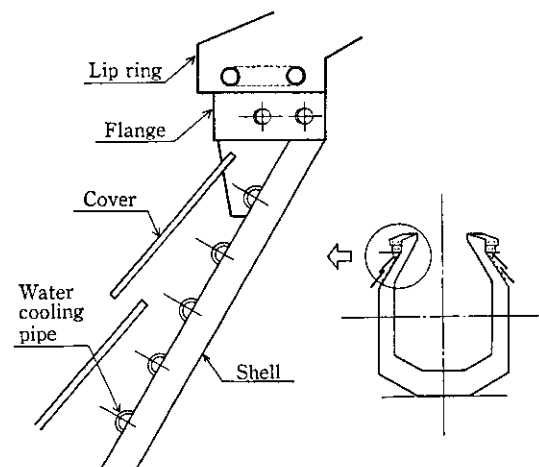


Fig. 5 Modification of cooling system for upper cone

冷却方法は、炉体上部のような鉄皮の水冷も考えられるが、万一水漏れが発生したとき補修が困難であるため、トラニオンリング下部の円周に沿わせた風管に、1~2m ピッチで取り付け付けたパイプノズルより風を吹きつける冷却方式を適用している。しかし2章で述べたように、熱伝導率の高いマグネシヤカーボン系耐火物の使用は鉄皮の熱負荷を増大させて、変形を促進させる一要因となっている。また、ステンレス鋼の吹錬は、溶鋼温度が高く、吹錬時間も長く鉄皮にとっては過酷な条件となっている。このような条件下の冷却には、多円管ノズルを用いた衝突噴流の空冷方式を開発し適用している。この開発経緯については4.2で述べる。

なお、炉体下部は、上部および腹部に比較して内張り煉瓦の厚みも厚く、変形および亀裂は穏やかであるため、特別な対策は施していない。むしろ内張り煉瓦の損耗速度の低減といった観点から、この部位の冷却の適用を検討している。

4.2 衝突噴流による空冷方式の開発

4.2.1 空冷実験装置

衝突噴流による空冷方式を実機へ適用するにあたり、衝突噴流のノズルに関する既存の実験式⁵⁾の妥当性を確認する目的で、オフラインで空冷実験をした。実験装置の概略をFig. 6に示す。実験は、50 mmf×1 200 mm□のSS 41 相当の鋼板（以下、模擬鉄皮という）の裏面に、熱源として電熱ヒーターを設け、それを断熱材で被った。ノズル径は6.5 mmφと9.2 mmφの2種類のノズルを用い、そのピッチは各々100 mm および200 mm の合計4種類のヘッダーを用いた。

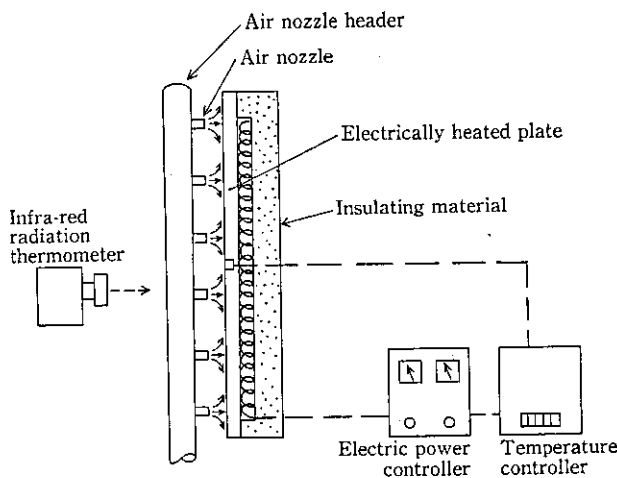


Fig. 6 Experimental apparatus of air cooling system

4.2.2 実験方法

模擬鉄皮の温度は、裏面の電熱ヒーターで昇温して定常状態に保った後、ノズルから空気を噴射した。噴射速度は20~50 m/sの間で変化させ、ノズルピッチも100 mm, 200 mmと変化させ合計11ケースについて実験した。熱流束は電力調整器で常に一定となるようにコントロールした。模擬鉄皮の表面温度の測定は、赤外線式温度計を主として用い、補助的に接触式温度計を用いた。

4.2.3 実験結果

模擬鉄皮の温度は、空冷前の平均で512°C、空冷後は304~421°C

であった。実験結果を実機に反映させるために、測温結果から各ケースの冷却性能を模擬鉄皮表面の平均熱伝達率としてまとめた。計算式は(3)~(6)式による。

$$\alpha = \frac{q}{\theta_s - \theta_\infty} \quad \text{..... (3)}$$

ここで、 α : 模擬鉄皮表面の平均伝達率 (kcal/m²·h·°C)

q : 熱流束 (kcal/m²·h)

θ_s : 模擬鉄皮表面の平均温度 (°C)

θ_∞ : 大気温度=24°C (実験中の室温)

α は、放射と対流の双方を含む(4)式で示される。

$$\alpha = \alpha_r + \alpha_m \quad \text{..... (4)}$$

放射による熱伝達率を(5)式に示す。

$$\alpha_r = \frac{\sigma \epsilon}{\theta_s - \theta_\infty} \{ (273 + \theta_s)^4 - (273 + \theta_\infty)^4 \} \quad \text{..... (5)}$$

対流による熱伝達率は(3)~(5)式より

$$\alpha_m = \frac{1}{\theta_s - \theta_\infty} [q - \sigma \epsilon \{ (273 + \theta_s)^4 - (273 + \theta_\infty)^4 \}] \quad \text{..... (6)}$$

ここで、 α_r : 放射による熱伝達率 (kcal/m²·h·°C)

α_m : 対流による熱伝達率 (kcal/m²·h·°C)

σ : ステファン・ボルツマン定数 (4.88×10⁻⁸ kcal/m²·h·K⁴)

ϵ : 模擬鉄皮の放射率=0.79

実機に採用したノズル仕様の空気噴射速度と対流熱伝達率の関係をFig. 7に示す。また既存の実験式⁴⁾を一点鎖線で示す。

今回の実験より(7)式を得た。

$$\alpha_m = 5.09 V^{0.628} \quad \text{..... (7)}$$

ここで、 V : 噴射速度 (m/s)

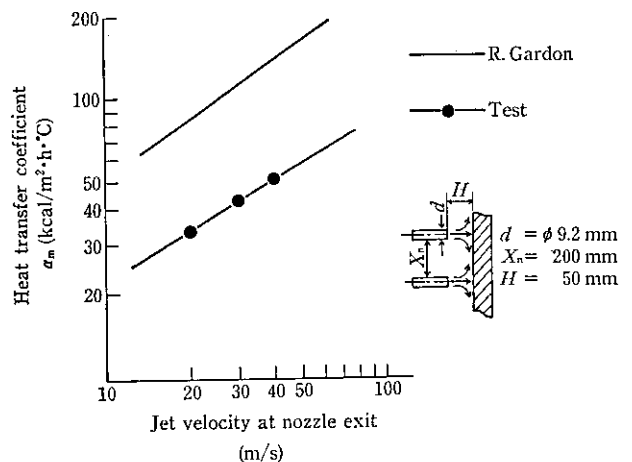


Fig. 7 Relationship between heat transfer coefficient, α_m , and jet velocity at nozzle exit, V

4.2.4 冷却効果

空気の衝突噴流方式を実機へ採用した状態をFig. 8に示す。この方式により、鉄皮温度は、Fig. 9に示すように最大300°C低下させることが可能となり、鉄皮の変形および亀裂を防止した。

この冷却方式は炉体のどの部位にも適用可能である。

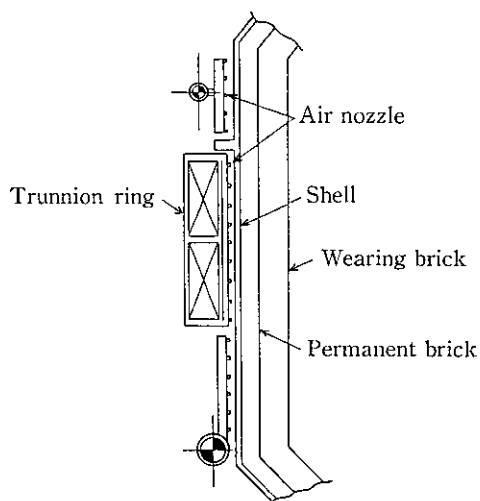


Fig. 8 Schematic converter cooling equipment

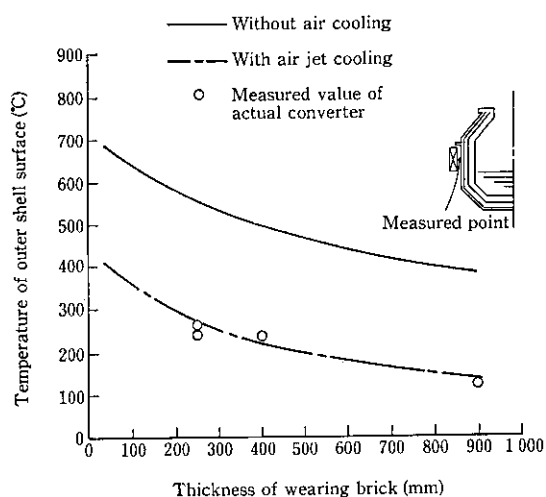


Fig. 9 Effect of cooling methods on the shell temperature of actual converter

5 炉体亀裂の診断技術と補修技術

従来の炉体亀裂の補修方法は、Fig. 10に示すように、炉修ごとに目視点検を行い、亀裂を発見すると、その都度補修計画を立て、急ぎ実施していた。このため補修技術や品質管理および施工管理に問題があった。

最近の方法は、炉修ごとに亀裂の補修部の状態を観察し、その情報をもとに余寿命を予測する診断技術とそれを活用して補修する方法を採用している。これらはとくに外面から観察できないトラニオンリングに蔽われている部位等に有効である。以下に亀裂診断技術と補修技術について述べる。

5.1 炉体亀裂の診断技術

5.1.1 亀裂検出

トラニオンリングに蔽われている部位の外面を起点とする亀裂に関し診断情報に必要な検出事項は次のとおりである。

- (1) 起点となる鉄皮外面の形状が検出できること。
- (2) 亀裂開口の有無が検出できること。
- (3) 亀裂先端位置が検出できること。

これらを実現するため超音波探傷と磁粉探傷を用いた。超音波探傷はJIS Z3060に規定する方法に加えて次のようへ特徴がある。

- (1) 標準型と集束型の探触子を併用した。
- (2) JIS-RB-4の両端に1 mmと2 mmのノッチを加工した感度調整試験片を考案し製作した。
- (3) 探触子ごとに距離振幅特性曲線を作成し標準穴とノッチのエコー高さを比較した。

標準型探触子による感度調整結果をFig. 11に示す。図の縦軸はエコー高さ、横軸はビーム路程である。図中の記号はJIS Z3060-1975による。図に示すようにビーム路程92 mmにおいてRB-4標準穴感度-6 dB (M線)のエコー高さ35%に対し1 mmノッチで38% (領域 III)、2 mmノッチで80% (領域 IV)のエコー高さが得られている。これをもとに外面の位置でH線以上のものを亀裂開口

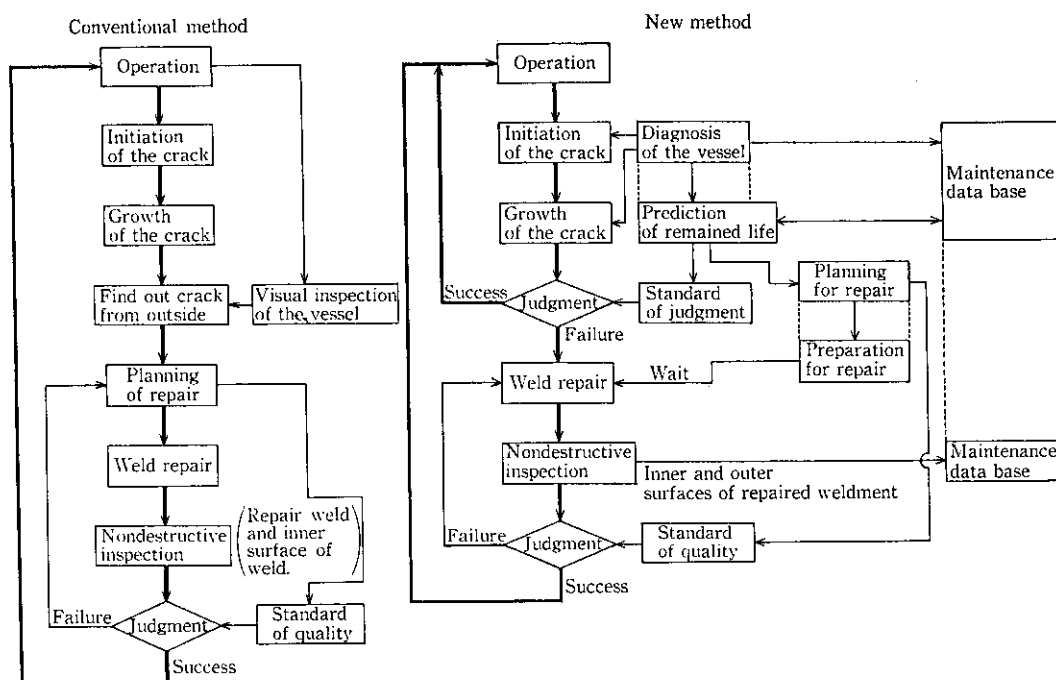


Fig. 10 Diagnosis and repair methods for the Q-BOP vessel

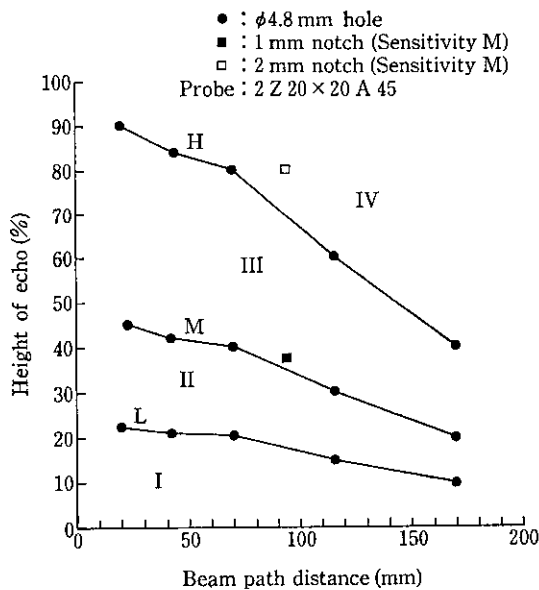


Fig. 11 Distance amplitude correction curve

始端とし、それから連続したエコー高さが得られるものでM線と接する位置を亀裂先端として判定している。実機の亀裂を補修する際に亀裂先端位置の検出精度を確認したところ ± 2 mmの範囲であった。このことから転炉内面から鉄皮の厚さ（一般に60~90 mm）を通して亀裂を検出できることがわかった。

5.1.2 亀裂診断技術

炉体亀裂の検出方法と診断部位をFig. 12に示す。検出は鉄皮内面から斜角探触子によって行う。診断部位はトランシオン軸芯を中心とし、装入側と出鋼側に振分けている。図中の数字は軸芯を原点(0)とした鉄皮内面の弧長である。

亀裂診断における判定基準は次のとおりである。

- (1) $[E] = (t-d)/v_{\max} \geq 2$ 補修予定なし
- (2) $2 > [E] \geq 1$ 翌年補修予定
- (3) $1 > [E]$ 今回補修実施
- (4) $L_r > L_o, L_i$ 補修なし
- (5) $L_r \leq L_o, L_i$ 補修実施

ここで、
 E : 予測余寿命 (年)
 t : 超音波測定による鉄皮厚さ (mm)
 d : 検出亀裂深さ (mm)
 $v_{\max}$: 最大亀裂進展速度 (mm/年)
 L_r : 亀裂補修長さ (mm)
 L_o : 検出外面亀裂長さ (mm)
 L_i : 検出内面亀裂長さ (mm)

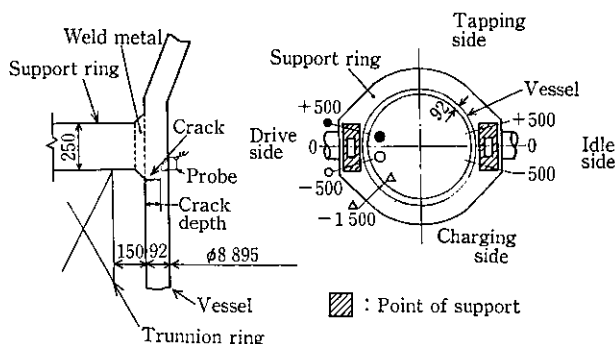


Fig. 12 Diagnosis method of the Q-BOP vessel

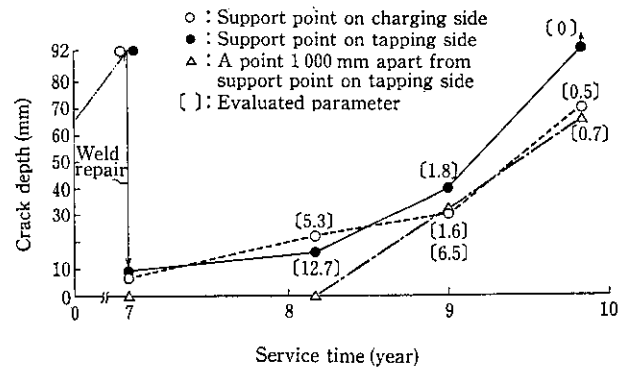


Fig. 13 Development of crack depth with service time at various parts of the Q-BOP vessel

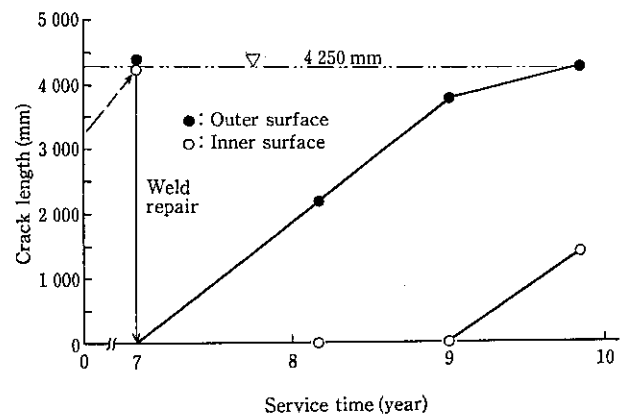


Fig. 14 Development of the crack length with service time at various parts of the Q-BOP vessel

これらの基準のうち新鉄皮では、(1)~(3)、補修鉄皮では(1)~(5)を適用している。

実機鉄皮の診断例をFig. 13および14に示す。Fig. 13の縦軸は亀裂深さ、横軸は稼働年数である。Fig. 14の縦軸は亀裂長さ、横軸は稼働年数である。Fig. 13において9年目の最小評価数は1.6であり、基準(2)に該当するため翌年の補修計画を立てた。10年目は炉修がやや早まったが、その際、亀裂診断による最小評価数が0になっており判定基準(3)に該当し、かつFig. 14においても(5)に該当したため補修を実施した。品質管理、施工管理等満足できるものであった。

5.2 炉体亀裂の補修技術

5.2.1 補修技術

製鉄設備・部品の補修における技術管理体系をFig. 15に示す。補修品の品質管理におけるこれらの診断、評価、設計管理、施工管理、検査の各技術が一連のものとなって初めて品質を保証できる。

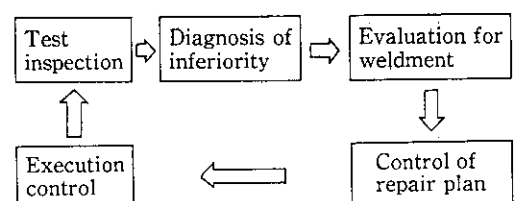


Fig. 15 System for repair technological control of weldment

Table 2 Application of repair welding method and welding materials to the Q-BOP vessel

Welding position	Application				Welding method	Welding materials	
	Repair of crack	Partial exchange of vessel		Repair of metal-away part		Brand name	Applicable specification
		Near to support ring	Others				
Flat position	◎	◎	○	—	Covered arc welding	KSA-76	JIS D5016 (AWS E7016)
	◎	◎	—	—	MIG arc welding	KM-50	(AWS ER70S-G)
	—	—	◎	◎	CO ₂ arc welding	KC-50	JIS YWC1 (AWS ER 70S-G)
Vertical position	—	◎	◎	—	Consumable nozzle type electroslag welding	KW-50C, KF-100, KU-1000	NK KEW52
	○	○	○	◎			
Overhead position	○	○	○	○	Covered arc welding	KSA-76	JIS D5016 (AWS E7016)
Horizontal position	◎	◎	○	○			
	○	◎	◎	○	MIG arc welding	KM-50	(AWS ER 70S-G)
	—	—	—	◎	CO ₂ arc enclosed welding	KC-50	JIS YWC-1 (AWS ER 70S-G)

■: Primary
○: Secondary

当社は各標準類の制定や整備とともに、これらの業務のうち、亀裂補修の場面において補修設計管理は WES 8103 の施工管理者 1 級、施工管理には施工管理者 2 級以上の責任者を配置して技術管理を行っている。

5.2.2 補修設計

炉体鉄皮の補修設計項目のうち適用溶接法と適用溶接材料の選定を Table 2 に示すように選定は現場での溶接性を考慮して溶接姿勢を基本にしている。次に補修形態を区分して溶接部の靱性と溶接能率の観点から溶接法と溶接材料を選定するようにしている。とくに炉体亀裂の補修においては周囲が拘束されている極厚鋼板の一部を溶接することから溶接部の割れ感受性に最大の関心を払っている。割れ感受性を支配する要因は溶接影響部の組織、応力および拡散性水素量であることはよく知られている⁶⁾。そこで、亀裂補修の際の溶接材料は 1.1 ml/100g-Fe を実現した KSA-76⁷⁾ と KM-50 に限定している。

5.2.3 施行管理

Q-BOP の炉体鉄皮補修における技術管理の例として施工要領書を Fig. 16 に示す。これは Fig. 15 に示した施工管理項目のうち現場溶接に必要な事項が全部記載されている。これらのうち溶接工事責任者が指導管理するポイントは予熱、後熱、開先形状の 3 点である。開先形状は溶接応力の抑制と溶接欠陥の発生の点で背反関係にあるので、とくに注意を要するところである。

以上述べた技術管理のもとに各ポイントを確実に実施することによって施工後の割れを皆無にできる。また補修部は鉄皮外面の目違いによる 10 mm 程度の切欠きを残した状態でも Fig. 13 に示したように低速の疲労破壊が始まっている。これから、不十分な補修では急速な脆性破壊が生ずる恐れのあるものに対し適切な補修技術を適用することにより、亀裂進展速度を小さくできたと考えられる。

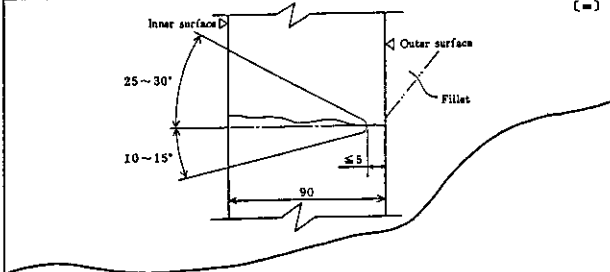
Date		Inspector		Planner																																																																														
<table border="1"> <tr> <td>Sheet No.</td> <td colspan="5">Guidance sheet for repair works by welding</td> </tr> <tr> <td>Sm-048</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>Working No.</td> <td>F 981 A F</td> <td>Plant No.</td> <td>1710</td> <td>Drawing No.</td> <td>132-0008 132-0009</td> </tr> <tr> <td>Weldment</td> <td colspan="5">Vessel and support ring of No. 2 Q-BOP</td> </tr> <tr> <td>Base metal</td> <td>SM 50 B</td> <td>C</td> <td>Si</td> <td>Mn</td> <td>Thickness</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>≤ 0.02</td> <td>≤ 0.05</td> <td>≤ 1.50</td> <td>90 mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Welding material</td> <td>Under layer</td> <td>C</td> <td>Si</td> <td>Mn</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Surface layer</td> <td>C</td> <td>Si</td> <td>Mn</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>K S A - 76</td> <td>0.07</td> <td>0.48</td> <td>1.40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Preheating</td> <td colspan="5"> ① 150~200°C ① Set down lagging material on the outer side of vessel. ② Heat width ≥ 200 mm ② Heat the center of crack by burners. ③ Take the temperature by contact type thermometer. </td> </tr> <tr> <td>Post heating</td> <td colspan="5"> ① 300°C × 3 Hrs ① Set down lagging material on the inner side of vessel. ② Heat the vessel every 30 sec of welded thickness. ③ Take the temperature at outer side of vessel. </td> </tr> <tr> <td>Notice</td> <td colspan="5"> ① Prepare the welding rods dryer at the field. ② Operate a peening on welded bead every 1 layer. ③ Prepare the ventilation equipment, O₂ detector and CO detector. </td> </tr> <tr> <td>Note, Schematic drawing, Amount of work, etc.</td> <td colspan="2">Qualification</td> <td colspan="3"> Welder: JIS Z 3801 Plate thickness 25mm or over Responsible person: WES 8103 C2 over </td> </tr> </table>						Sheet No.	Guidance sheet for repair works by welding					Sm-048						Working No.	F 981 A F	Plant No.	1710	Drawing No.	132-0008 132-0009	Weldment	Vessel and support ring of No. 2 Q-BOP					Base metal	SM 50 B	C	Si	Mn	Thickness			≤ 0.02	≤ 0.05	≤ 1.50	90 mm	Welding material	Under layer	C	Si	Mn		Surface layer	C	Si	Mn			K S A - 76	0.07	0.48	1.40		Preheating	① 150~200°C ① Set down lagging material on the outer side of vessel. ② Heat width ≥ 200 mm ② Heat the center of crack by burners. ③ Take the temperature by contact type thermometer.					Post heating	① 300°C × 3 Hrs ① Set down lagging material on the inner side of vessel. ② Heat the vessel every 30 sec of welded thickness. ③ Take the temperature at outer side of vessel.					Notice	① Prepare the welding rods dryer at the field. ② Operate a peening on welded bead every 1 layer. ③ Prepare the ventilation equipment, O ₂ detector and CO detector.					Note, Schematic drawing, Amount of work, etc.	Qualification		Welder: JIS Z 3801 Plate thickness 25mm or over Responsible person: WES 8103 C2 over		
Sheet No.	Guidance sheet for repair works by welding																																																																																	
Sm-048																																																																																		
Working No.	F 981 A F	Plant No.	1710	Drawing No.	132-0008 132-0009																																																																													
Weldment	Vessel and support ring of No. 2 Q-BOP																																																																																	
Base metal	SM 50 B	C	Si	Mn	Thickness																																																																													
		≤ 0.02	≤ 0.05	≤ 1.50	90 mm																																																																													
Welding material	Under layer	C	Si	Mn																																																																														
	Surface layer	C	Si	Mn																																																																														
	K S A - 76	0.07	0.48	1.40																																																																														
Preheating	① 150~200°C ① Set down lagging material on the outer side of vessel. ② Heat width ≥ 200 mm ② Heat the center of crack by burners. ③ Take the temperature by contact type thermometer.																																																																																	
Post heating	① 300°C × 3 Hrs ① Set down lagging material on the inner side of vessel. ② Heat the vessel every 30 sec of welded thickness. ③ Take the temperature at outer side of vessel.																																																																																	
Notice	① Prepare the welding rods dryer at the field. ② Operate a peening on welded bead every 1 layer. ③ Prepare the ventilation equipment, O ₂ detector and CO detector.																																																																																	
Note, Schematic drawing, Amount of work, etc.	Qualification		Welder: JIS Z 3801 Plate thickness 25mm or over Responsible person: WES 8103 C2 over																																																																															
																																																																																		

Fig. 16 Example of guidance sheet of the Q-BOP vessel

6 転炉軸受の迅速交換

これまで、最近の転炉機械設備の長寿命化技術の進歩について述べてきたが、ここでは経年劣化によるトラニオン軸受取替え時の迅速交換について述べる。

周知のごとく、炉体およびトラニオンリングは駆動側と非駆動側の軸受で支持されていて、そのうち、駆動側軸受はトラニオンリングとブルギヤー間に位置している。このため、従来、軸受の交換はブルギヤーを取り外して行っていたが、3年前より、工事工程の短縮および工事費の削減を目的に、2分割軸受を採用している。Fig. 17に2分割軸受と一体形軸受を示す。

小型の2分割軸受は実績も多く公知の技術であるが、国内の転炉では初の試みだった。適用するに当たり、「大型の2分割軸受であること」、「既設の転炉に適用すること」という観点から種々の検討を行った結果、技術的に可能であることを確認した。

当社の転炉に使用した2分割軸受の特長は以下のとおりである。

- (1) 軸受内輪および外輪の部品をすべて2分割していること
2分割なのでブルギヤーの着脱は不要である。駆動側の軸を

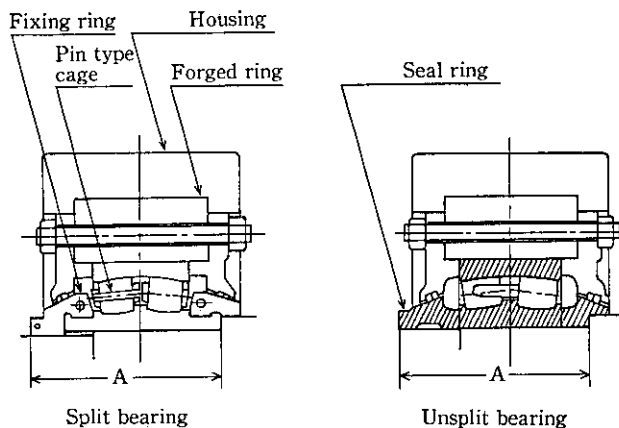


Fig. 17 Split bearing and unsplit bearing

ジャッキアップさせるだけで、容易に交換できる。なお、今まで使用していた一体形軸受は溶断して取り外す。

- (2) ピンタイプ保持器の使用

従来のもみ抜き保持器のかわりにピンタイプ保持器を採用して、ころ数の増加を図り負荷容量をアップしている。

- (3) 既設転炉へ適用可能

締結リングと調芯性のあるシールリングを一体化して、シールリングを含めた総幅を従来の寸法 (Fig. 13のA寸法) に合わせてあるので、既設転炉にそのまま使用できる。

効果としては、1転炉当り工事工程短縮約10日、工事費削減約一千万円を達成した。現在、合計3基の転炉に組み込まれ順調に稼働している。

7 結 言

転炉機械設備の長寿命化を目的として当社で開発した最近の技術につき紹介した。これらをまとめると以下のとおりである。

- (1) 炉体鉄皮の変形や亀裂の発生原因を解明するために、炉体の構造解析技術を開発した。
- (2) 炉体の振動解析のための炉体変位 X は、 $X \propto \eta K^{-1} WHQ^{1.3}$ で推定でき、これにより設備の安全性を評価できる。設備容量不足の時は、許容できる操業条件を求めることができる。
- (3) 炉体の冷却技術の改善では、衝突噴流による空冷方式で炉体鉄皮の変形や亀裂の発生の防止を図った。マグネシウムカーボン系耐火物の使用等により従来の空冷方式では熱負荷を軽減できない部位に適用できる。
- (4) 炉体の亀裂診断と補修に対しては、超音波探傷と磁粉探傷を使用して亀裂の発見あるいは亀裂の進展状態を把握し寿命を予測する技術を確立した。また補修においては、その管理体制を整備して品質の保証を図った。
- (5) 転炉軸受の迅速交換を図るために、2分割軸受を採用した。これにより工事工程を短縮し、工事費を削減できた。

今後これらの技術をさらに向上させ、転炉機械設備の長寿命化を図っていきたい。

参 考 文 献

- 1) 永井 潤, 山本武美, 山田博右, 橋 林三, 中西恭二, 武 英雄, 大森 尚, 飯田義治: 「上底吹き転炉の冶金特性」, 川崎製鉄技報, 14 (1982) 3, 1-9
- 2) 永井 潤, 山本武美, 武 英雄, 大石 泉, 大森 尚, 飯田義治: 「上底吹き転炉 (K-BOP) の操業技術の確立」, 川崎製鉄技報, 15 (1983) 2, 14-20
- 3) 小島信司, 吉田正弘, 岩谷明之, 武 英雄: 「上底吹き転炉における炉体振動の定量的評価」, 川崎製鉄技報, 19 (1987) 1, 1-6
- 4) 田中秀幸, 岩谷明之, 陶山謙一, 有吉政弘, 秋山信治, 武 英雄: 「LD転炉の上底吹き転炉 (K-BOP) 化における設計・施工」, 川崎製鉄技報, 16 (1984) 2, 84-92
- 5) R. Gardon and J. Cobonpue: "Int. Develop. Heat Transfer", (1962), p 454 ASME
- 6) 例えば, (社) 日本溶接協会監修: 「鋼構造溶接工作法通論」, (1981), 90, [産報]
- 7) 川崎製鉄(株): 「溶接棒便覧」, (1983), 43, [川崎製鉄]