

Application of Monolithic Refractory to Teeming Ladle for Stainless Steelmaking



今飯田 泰夫

Yasuo Imaiida

千葉製鉄所 製鋼部
材技術室 主任(課長補)

金谷 利雄

Toshio Kanatani

千葉製鉄所 製鋼部
材技術室長(部長補)

西川 廣

Hiroshi Nishikawa

千葉製鉄所 製鋼部第
一製鋼課長

要旨

ステンレス鋼を主体に溶製を行っている千葉製鉄所第一製鋼工場において、取鍋寿命の向上と取鍋整備作業の改善を図るために、取鍋の側壁、敷部へアルミナ・スピネル流し込み材を適用し、さらに変質層を除去しない継ぎ足し施工を実施した。微粉部にスピネル粒を20%配合したアルミナ・スピネル流し込み材は亀裂、剝離損傷は生じず側壁部、敷部への使用に対し、安定した耐用性を示した。また、変質層を除去しない継ぎ足し施工では、旧材表層の付着スラグが新材層に熔融浸潤し、十分強固な接着が得られる。この結果、取鍋の側壁部の寿命は240チャージまで延長でき、耐火物コストは約34%削減できた。

Synopsis:

At No.1 Steelmaking Shop of Kawasaki Steel's Chiba Works where stainless steels are mainly produced, application of alumina-spinel castable refractories to the wall and bottom of the ladle and adoption of an intermediate grafting repair without removal of the metamorphic layer on the surface of the used material were tried. Application of an alumina-spinel castable refractory containing 20% fine spinel particles to the wall and bottom of the ladle secured the durability of these parts, without cracking or peeling damage. When intermediate grafting repair is carried out without removing the metamorphic layer, the slag adhering to the surface of the old material is heated, melts, and penetrates into the new material, creating a strong sintered layer between the old and new materials. In comparison with the conventional brick lining method, an extension of the life of the wall to 240 heats and a 34% reduction in refractory costs have been achieved as a result of this improved process.

1 緒言

鉄鋼業における耐火物部門の中長期の課題として、

- (1) 耐火物の有効使用率の向上
- (2) 作業労働負荷の軽減
- (3) 専門技能労働者(築炉工)の老齡化対策

等が挙げられ、これらの対策の一環として、各所で窯炉への不定形耐火物の適用拡大が行われている。

溶鋼取鍋用耐火物の分野においては、従来、ジルコン系が材が主流であった。しかしながら、

- (1) 取鍋の寿命延長のためのポスト・ジルコンが材の探究
 - (2) 鋼の品質高級化ニーズによる低SiO₂が材の要求
- 等の背景により、日本国内の各所でアルミナ系流し込み材の適用がなされ¹⁻⁵⁾、ほぼその評価も定着しつつある。

千葉製鉄所第一製鋼工場においては、ステンレス鋼の溶製を実施しており、取鍋耐火物にとっては溶鋼滞留時間、溶鋼温度の点で、過酷な使用条件下にあり不定形耐火物の適用に懸念があった。

このため、アルミナ・カーボン質れんがの適用⁶⁾等により、取鍋寿命の延長を図ってきた。しかしながら、更なる寿命延長の要求とともに、抜本的に前述した課題の観点からも、ステンレス鋼溶製用取鍋耐火物の不定形化が望まれる。

本報では、ステンレス鋼用取鍋において、側壁、敷部へのアルミナ・スピネル流し込み材の適用結果と、不定形耐火物の利点である継ぎ足し施工を可能とした開発の概要を報告する。

2 適用材料の検討

2.1 アルミナ・スピネル流し込み材の品質設計

スピネル粒(Al₂O₃-MgO)は低膨張性および高耐食性を示し、耐火材料としては興味ある原料といえる。このスピネル粒を耐火物として利用するためにアルミナ粒と組み合わせ、アルミナ・スピネル流し込み材としての適用が行われている。

このアルミナ・スピネル流し込み材に関しては、熱膨張率の異なるアルミナ粒とスピネル粒の異材質を組み合わせることにより、高耐スポーリング性を付与している。また、含有SiO₂量が少ないことから、高耐食性を示すと同時に、鋼の清浄化が期待できるとい

*平成5年8月24日原稿受付

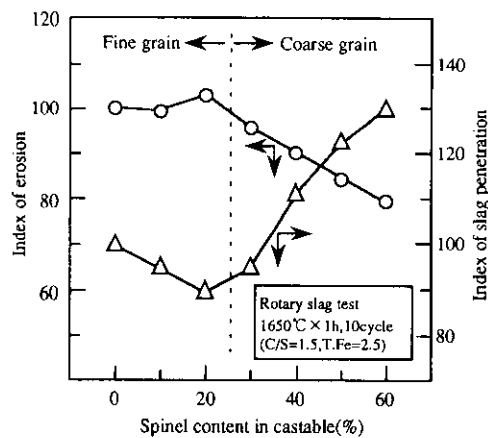


Fig. 1 Results of erosion test for alumina-spinel castable

た特徴を有しており、取鍋内張り炉材として有望視される。

Fig. 1 に、スピネル配合量を変化させたアルミナ・スピネル流し込み材の配合量を変化させた場合のステンレス鋼スラグを用いた浸食テスト結果を示す。ここで、スピネル粒は配合量 20% までは微粉域 (1 mm 未満) に配合したが、配合量 30% 以上では粗粒域 (1 mm 以上) で使用した。この結果からスピネル粒の配合について次のことがわかる。

- (1) 微粉域で配合量を増すと、スラグ浸潤抑制効果がある。
- (2) 粗粒域で配合量を増すと、耐食性向上効果がある。

2.2 プレキャストブロックによる予備テスト

前節での調査結果をもとに

- (1) スピネル微粉 20% 配合品 (耐スラグ浸潤性重視)
 - (2) スピネル粗粒 (骨材) 60% 配合品 (耐食性重視)
- の 2 種のアルミナ・スピネル流し込み材について、プレキャストブロックを製作し、実鍋側壁部へ張り分けた。Photo 1 に 50 チャー

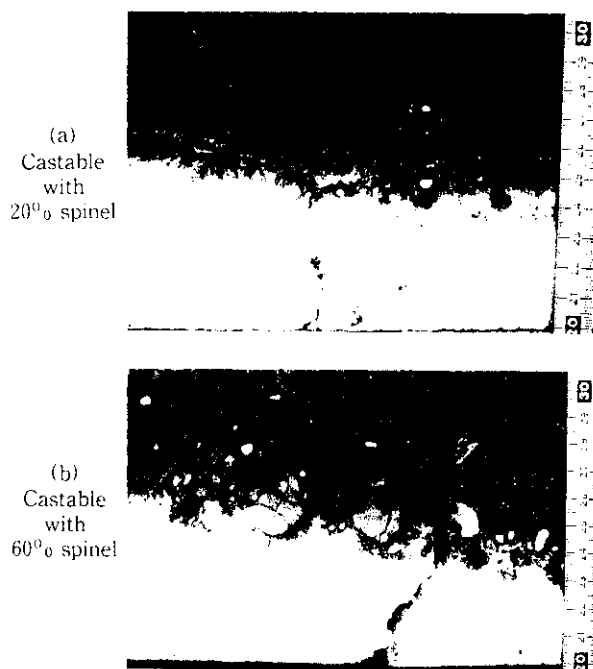


Photo 1 Cross section of pre-cast block used for wall in ladle (after 50 heats)

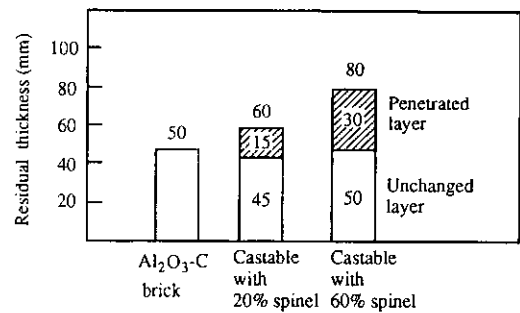


Fig. 2 Result of pre-cast block test (after 50 heats)

シ使用後回収したブロックの切断面写真を、Fig. 2 に、同ブロックの残厚と浸潤層厚について測定した結果を示す。

これらの結果より、実鍋においても、ラボテストでの調査と同様な結果が得られることがわかる。

すなわち、

- (1) スピネル粒を微粉で配合すれば、スラグ浸潤抑制効果がある。
 - (2) スピネル粒を骨材で配合すれば、耐食性向上効果がある。
- また、アルミナ・スピネル材質は現行のアルミナ・カーボンれんがと比べて、いずれのケースにおいても、溶損量は少なく耐食性の向上が期待される。

以上の知見をもとに、実鍋の流し込み材については、両者を適用し比較検討することとした。

3 取鍋へのアルミナ・スピネル流し込み材の適用

3.1 取鍋ライニング仕様

Table 1 に取鍋内張りを使用した耐火物の品質を示し、Fig. 3 に取鍋のライニング仕様を示す。

当所第一製鋼工場 100 t 取鍋において、従来、工率的にはスラグライン部に不焼成マグネシア・カーボンれんが (A)、側壁部、敷部にアルミナ・カーボンれんが (D) を採用していた。今回、側壁部において、アルミナ・スピネル流し込み材 (B, C) をテストに供した。敷部については、側壁部の結果をもとに選択した材質をテストに供した。

(B) はスピネル粒を骨材として 60% 配合したものであり、(C)

Table 1 Properties of refractories for ladle

		A	B	C	D
		MgO-C	Castable ^a	Castable ^a	Al ₂ O ₃ -C
Application		Slag-line	Wall and bottom		
Chemical composition (%)	SiO ₂	1	0.2	0.1	8
	Al ₂ O ₃	—	76	93	75
	MgO	76	19	6	5
	ZrO ₂	—	—	—	—
	C	15	3	—	3
Apparent porosity (%)		2.5	7.5	13.3	7.5
Bulk density		2.93	3.05	2.98	3.05
Crushing strength (MPa)		64	78	23	78

^a Data of castable prepared by 110°C × 24 h

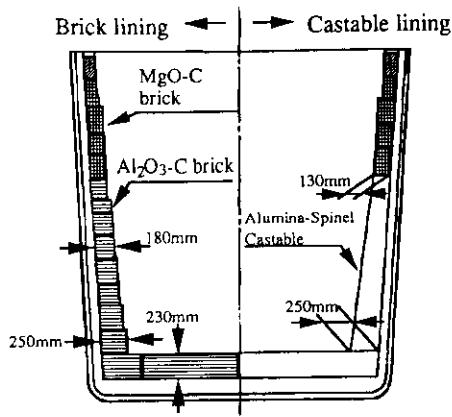


Fig. 3 Profile of ladle lining

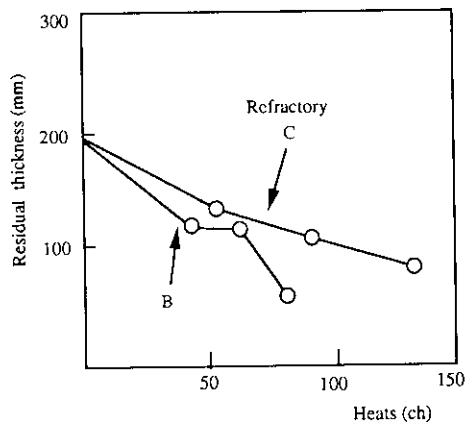


Fig. 4 Transition of residual thickness of wall at ladle

はスピネル粒を微粉部に 20% 配合した。また、アルミナ・カーボンれんが (D) については、微粉部にマグネシアを 5%、黒鉛を 3% 配合している。

ライニング厚みに関しては、敷部を 230 mm、側壁部を 250 mm ~ 130 mm と工程鍋とほぼ同じ厚みとした。

3.2 側壁部での使用結果

Fig. 4 に小修理時に側壁部をボーリング調査し、測定した残厚の推移を示す。いずれのケースにおいても 50~60 チャージまでは安定した溶損推移を示しているが、その後、スピネル骨材 60% 配合の流し込み材 (B) の損耗が急激に進行しているのに対し、スピネル微粉 20% 配合の流し込み材 (C) は末期まで安定した溶損推移を示した。

稼働中の観察において、B 材質については、亀裂の発生~膨れ~剥落の繰り返し認められたことから、スラグの浸潤による構造スポーリングが損耗の主因と推察される。また、C 材質については、明らかな剥落現象が認められなかったことから溶損により損耗が進行したと考えられる。

Fig. 5 に損耗速度の比較を示す。B 材質については構造スポーリングによる損傷が大きく、アルミナ・カーボンれんがと比べ 1.3~1.5 倍の損耗速度を示したが、C 材質については、約 30% 損耗速度が減少し、好結果を得た。

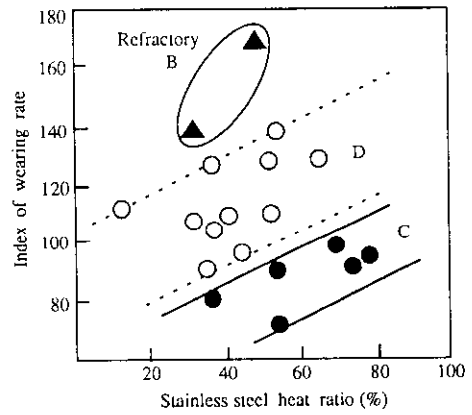


Fig. 5 Relationship between stainless steel heat ratio and wearing rate of wall in ladle

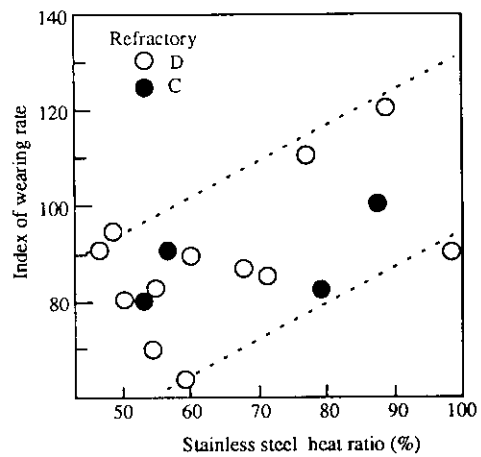


Fig. 6 Relationship between stainless steel heat ratio and wear of bottom in ladle

3.3 敷部での使用結果

側壁部での使用結果により、敷部への適用材質としては C 材質を選定した。Fig. 6 に、敷部で最も損耗の激しい湯当たり部での損耗速度の比較を示す。アルミナ・カーボンれんが (D) は、ステンレス鋼の受鋼比率が増すほど、損耗は増大する傾向が認められる。これに対しアルミナ・スピネル流し込み材 (C) は、れんがと同等な損耗速度を示し、寿命も同等であった。

稼働中の観察においても、亀裂、剥落等は認められず微粉部へのスピネル粒の配合効果が認められたものと推察する。また、小修理時において、れんがの際に認められたような目地部からの内張り~永久張り間への地金差しがなく、修理範囲が縮小できる効果を得た。

4 継ぎ足し施工

4.1 継ぎ足し施工方法の検討

不定形耐火物の最大の利点として、継ぎ足し施工を行うことにより耐火物の有効利用が図れることが挙げられる。当所第一製鋼工場において、側壁、敷部の不定形化を実現したことにより、継ぎ足し施工実施の可能性を検討した。

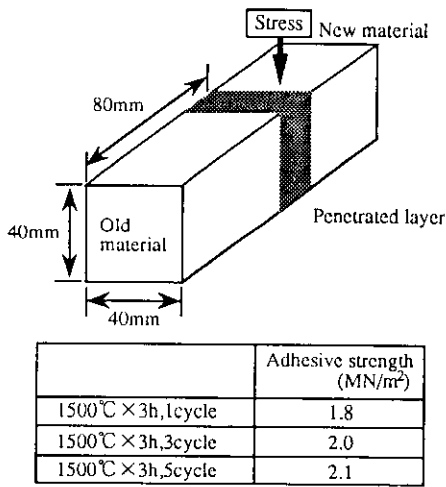


Fig. 7 Result of adhesive strength test

従来、継ぎ足し施工としては、旧材～新材間の接着性を重要視することから、スラグ浸潤による変質層を除去する方法が行われていたが、今回、極力作業コストおよび材料コストを削減するために、スラグ浸潤層を除去せずにダイレクトに新材を施工する方法を検討した。

実鍋で使用した流し込み材を回収し切り出したピースに、スラグ浸潤層を介して新材を鑄込み、所定温度に焼成した後、サンプルの接着強度を Fig. 7 に示す。旧材と新材間はある程度強固に接着していることがわかる。このことは、旧材に浸潤したスラグ成分 (CaO, SiO₂等) が加熱により新材側へ拡散することにより強度が発現したものと推察され、実鍋においてさらに受熱量が大きくなることを加味すれば、スラグ浸潤層を除去しない継ぎ足し施工方法は成立すると思われる。

4.2 継ぎ足し施工実施結果

Fig. 8 に継ぎ足し施工のフロー図を示す。すなわち、以下の手順で実施する。

- (1) 修理落ちとなった取鍋を冷却後、スラグライン部を解体する。

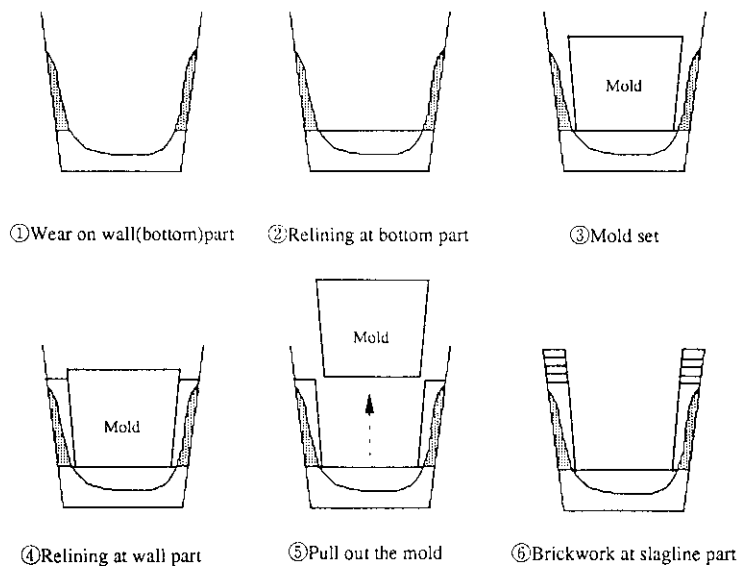


Fig. 8 Method of relining

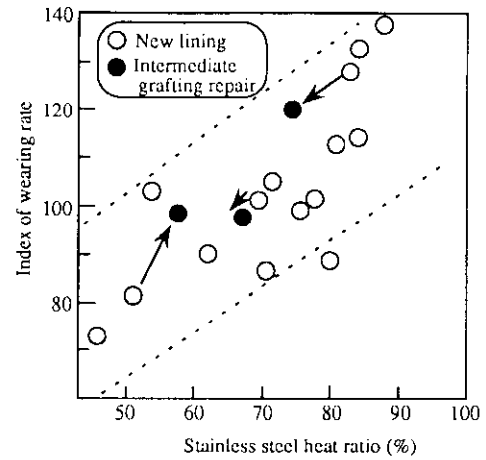


Fig. 9 Relationship between stainless steel heat ratio and wear of wall in ladle

- (2) 敷部では、湯当たり部損耗部位の表層付着地金を除去した後、新材を流し込む。
- (3) 壁部については、敷部流し込み材の硬化後、中子をセットし、新材を流し込む。
- (4) 中子脱枠後、スラグライン部のれんが施工を行う。

稼動中および小修理時の観察では、敷部は継ぎ足し後も湯当たり部を中心とした損傷形態をとっており、稼動途中での継ぎ足し部の浮上等は生じなかった。側壁部においては、稼動中部分的な剥落による旧材の露出は認められるものの、軽微であった。Fig. 9 に側壁部での継ぎ足し施工前後の損耗速度の比較を示す。継ぎ足し後においても損耗速度はほとんど変化しておらず、寿命もほぼ同等であった。

4.3 継ぎ足し材の接着機構に関する調査

Photo 2 に側壁部より採取した継ぎ足し部の境界を含んだ箇所の切断写真を示す。この写真より次のことがわかる。

- (1) 継ぎ足し境界層は一部空隙もあるが、多孔組織を示す溶着層を介し、接着している。
- (2) 新材層は、背面からの変質が認められる。

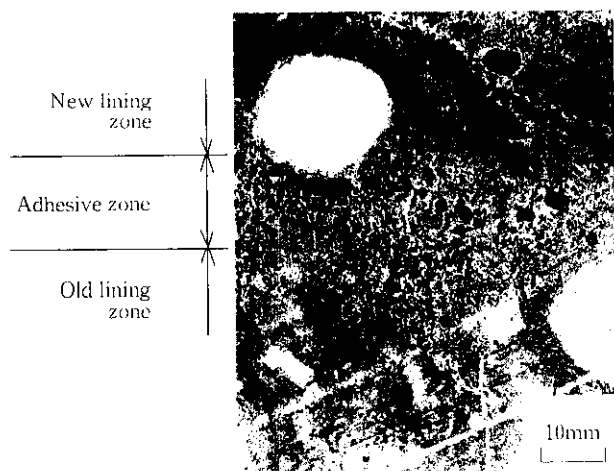


Photo 2 Cutting section of alumina-spinel castable after use

Table 2 Analysis results of X-ray diffraction

Distance from surface (mm)		Mineral			
		Corundum Al ₂ O ₃	Spinel MgAl ₂ O ₄	Gehlenite Ca ₂ Al ₂ SiO ₇	Anorthite CaAl ₂ Si ₂ O ₈
0~20	New-lining zone	+	+	●	tr
20~40	Adhesive zone	●	+	●	tr
40~60	Old lining zone		+	tr	tr
60~90		+++	++	-	-

+++>++>+>●>tr

(3) 旧材層の組織は健全であり、熱履歴による劣化は少ない。

以上のことから、旧材表層の付着スラグが受熱により熔融し、新材層にも浸潤することにより、旧材~新材間の接着に関与していると観察される。

Table 2 に、同サンプルの各層別に X 線回折による同定鉱物の調査結果を示す。溶着層には、スピネル、コランダム以外にゲーレンナイト (Ca₂Al₂SiO₇)、アノーサイト (CaAl₂Si₂O₈) が認められ、これらの低融点化合物は、新材層背面および旧材変質層にも認められた。したがって、旧材表層の低融点化合物が受熱により熔融して、その溶融物が新材側へも浸潤のマトリックス部を溶着すると推

察される。

以上のことから、継ぎ足し後の使用においても、剥落は軽微でありほぼ同等の寿命を示したと考えられる。

5 効果

前述までの結果を踏まえ、当所第一製鋼工場の取鍋では、側壁、敷部へのアルミナ・スピネル流し込み材の適用に加え、継ぎ足し施工を順次実施し工程化した。

Fig. 10 に、れんが施工から現在までの寿命および耐火物コスト推移を示す。側壁部、敷部へのアルミナ・スピネル流し込み材の適用、さらに継ぎ足し施工を工程化することにより側壁寿命は 240 チャージ、湯当たり部は 60 チャージ、敷外周部は 240 チャージまで無補修と延命でき、耐火物コストは約 34%削減できた。

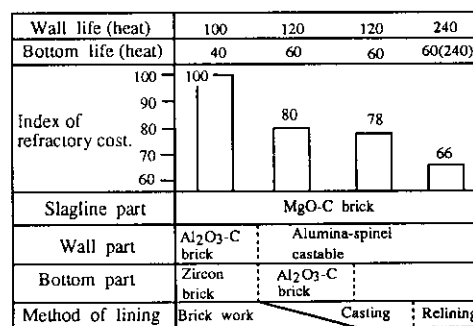


Fig. 10 Transition of refractory cost

6 結言

千葉製鉄所第一製鋼工場取鍋において、側壁、敷部へのアルミナ・スピネル流し込み材を適用し、さらに変質層を除去しない継ぎ足し施工を実施した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 微粉部にスピネル粒を 20% 配合したアルミナ・スピネル流し込み材を側壁部、敷部へ使用することにより、亀裂、剥離損傷もなく安定した耐用を示した。
- (2) 変質層を除去しない継ぎ足し施工において、旧材表層の付着スラグが受熱により熔融し新材層に浸潤することにより、旧材~新材間の接着を強固なものとするため、継ぎ足し後の耐火物の損耗に影響を及ぼさない。
- (3) 以上の改善により、取鍋側壁寿命は 240 チャージまで延命でき、耐火物コストは 34%削減できた。

参考文献

- 1) 加藤久樹, 松村豪夫, 西 正明, 原田昭二, 浜村佳久, 金重利彦: 材料とプロセス, 2 (1989) 4, 1109
- 2) 宮川三郎, 南部正夫, 数上文夫, 松生 昭, 小口健男: 材料とプロセス, 2 (1989) 4, 1110
- 3) 今飯田泰夫, 西川 廣, 浜上和久, 大石 泉: 材料とプロセス, 2 (1989) 4, 1111
- 4) 八百井英雄, 西谷輝行, 松岡 尚, 源波 孝, 中川 仁, 鳴 宏: 材料とプロセス, 2 (1989) 4, 1112
- 5) 佐藤 康, 広木伸好, 布袋屋道則, 城川 弘, 三木 隆: 材料とプロセス, 3 (1990) 1, 235
- 6) 今飯田泰夫, 西川 廣, 大石 泉, 岩井 正, 斎藤義博, 高取 勤: 材料とプロセス, 2 (1989) 1, 129
- 7) 桑山道弘, 川崎義則, 小笠原一紀, 岩永伸輔, 松生 昭: 鉄と鋼, 73 (1987) 4, 173