

現場技術報告

製鋼使用済耐火物リサイクル技術の開発

Development of Used-refractory Recycle Technology in Melting Shop

大同特殊鋼（株）知多工場

中坪修一・天野肇・立石亨*
新貝元

1. 緒言

当社知多工場における使用済み耐火物（以下、廃レンガと称する）の発生量は約10kt/年であり、定盤レンガを除く大半は場内処分場に埋設処分してきた。しかし、場内処分場の残余寿命の低下、及びそれに伴う公共投棄場への投棄費用発生の問題が顕在化したため、廃レンガ発生量低減が必須の状況になってきた。

Fig.1 に知多工場の廃レンガ発生量の内訳を示す。上記の理由により、廃レンガ発生量の抑制対策を図るべく、使用済み耐火物の再利用技術開発に取り組んできた。廃レンガ再利用の用途としてはLF造滓材・EBT（電炉偏心炉底出鋼方式）詰砂・SN（スライディングノズル）プレート・再生レンガ等の多種にわたり開発を実施した。本資料ではその概要について報告する。

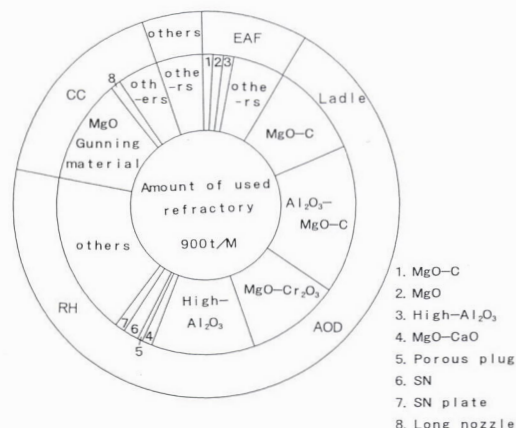


Fig. 1. Structural ratio of used refractory in Chita Plant.

2. 廃レンガ再利用技術

2.1 LF造滓材への適用

Fig.2 にLF造滓方法を示す。通常の精錬用途としてのCaO・CaF₂の他に、取鍋レンガ保護を目的に軽焼ドロマイト（MgO源）を添加している。その最適組成として過去の知見より（%MgO）=8~12%にコントロールすることがポイントである。

LF造滓材に適用する廃レンガの代表成分をTable 1 に示す。MgOを含有している取鍋スラグライン部のMgO-Cレンガ、メタルライン部のAl₂O₃-MgO-C（AMC）レンガを粉砕したものを軽焼ドロマイトと置換えて用いた。

廃レンガを使用するにあたり、滓化性、及び精錬能をチェックする目的で、粒度を<5mm、<10mmの2条件に粉砕し、実炉試験を実施した。その結果、懸念された粗粒（<10mm）での滓化性は良好であり、脱S速度等の精錬能力にも遜色ない結果が得られた。それに比べて微粒（<5mm）は粉砕能率・粉塵発生量等、廃レンガ製造上の問題が多いことが判明した。

Table 2 にLFスラグ組成を従来の軽焼ドロマイトと比較して示す。スラグ中のMgOは約10%であり、前述した最適組成にコントロールされている。また廃レンガ使用に伴いスラグ中のAl₂O₃が約3%増加している。

Table 2. Slag composition in LF.

	FeO	SiO ₂	S	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Used refractory operation N=23 (σ)	0.30 (0.45)	17.85 (2.33)	0.84 (0.16)	8.05 (1.21)	61.36 (3.13)	10.25 (2.60)
Conventional operation N=18 (σ)	0.59 (0.35)	19.68 (1.48)	0.94 (0.22)	5.17 (1.11)	63.39 (5.12)	9.51 (3.49)

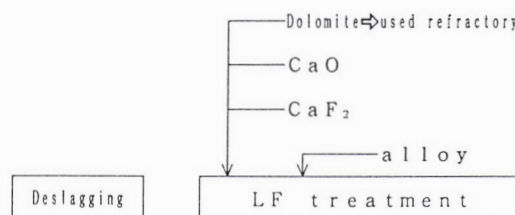


Fig. 2. Typical LF operation.

Table 1. Composition of used refractory and light burned dolomite.

	C	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	others (%)
Used refractory	11.8	24.9	48.5	2.4	12.4
Light burned dolomite	—	—	>30	>60	—

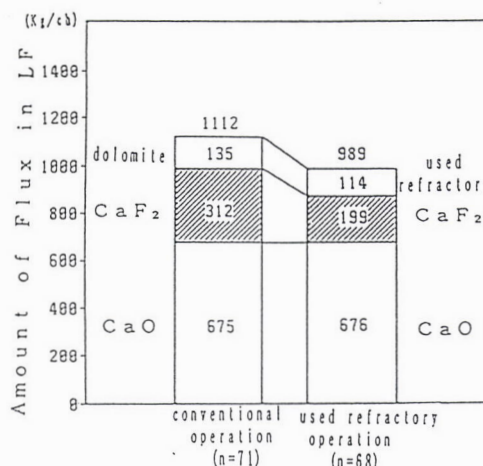


Fig. 3. Flux consumption in LF.

Fig.3 にLF造滓材使用量を従来と比較して示す。取鍋で発生する廃レンガ適用により、軽焼ドロマイトがレンガ層に置き換わり、スラグ中の Al_2O_3 の増加により粘性が低下したため CaF_2 使用量低減効果も得られた。

2.2 EBT詰砂への適用

EBT詰砂は、溶鋼から出鋼口を保護する栓の役目をしており、出鋼時に自然開孔すれば材質に特別な制限はないため、自然開孔するための必要条件として難焼結性という点と、投棄上の課題が多いという両面から、 $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ 廃レンガの適用を第1優先に検討した。 $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ 廃レンガを用いて実炉試験を行った結果、自然開孔率は高レベルを維持(>98%)しており使用上全く問題のないことが判明した。

つづいて、廃レンガのリサイクル率向上を目的として他の材質適用を図った。まず、対象として電炉 MgO レンガの粉碎品を試みたところ、自然開孔率が著しく劣ったため適用困難な結果となった。そこで、電炉の炉蓋や取鍋で使用している高 Al_2O_3 レンガの粉碎品を混合した結果、粒度分布が改善され、自然開孔率で従来品と遜色のない結果を得ることができた。

Fig.4 にEBT詰砂の使用比率を示す。 $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ 廃レンガ、及び高 Al_2O_3 廃レンガの適用により、リサイクル率は86%と高水準に至るまでになっている。

2.3 SNプレート再生技術

Fig.5 に使用済みSNプレートの溶損状況を示す。6ch使用後の孔径拡大は3mm程度、及び摺動部はmax10mm溶損されている。また、プレートのクラック発生は少なく、孔部の再生・摺動面研磨を実施すれば十分再生可能であると判断した。

使用済みSNプレートの再生方法として方式の検討を行なった結果、再生コスト高だが最も安全性の高いリング交換方式(Fig.6)を採用した。なお再生の工程はSNプレート表面を研磨しその後孔部をボーリング加工した後、別途新作したリング耐火物をはめ込む工程を経て製造される。

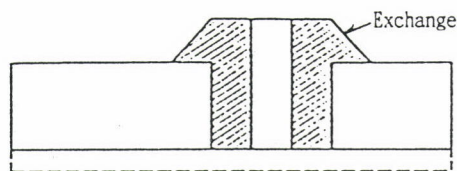


Fig. 6. Reformed sliding plate.

Fig.7 に再生SNプレート使用後の外観を示す。若干亀裂の進行は認められるものの孔周辺部・摺動部の脱炭は少なく良好な結果を得た。現在、SNプレート450セット/月使用の内、約20%は再生品を使用しており、今後さらにその比率を向上させてゆく計画である。

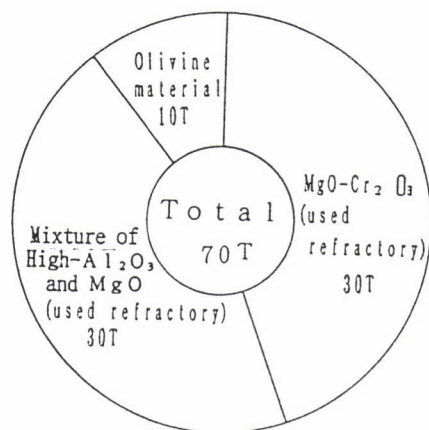


Fig. 4. Ratio of tap hole plug material of EBT.

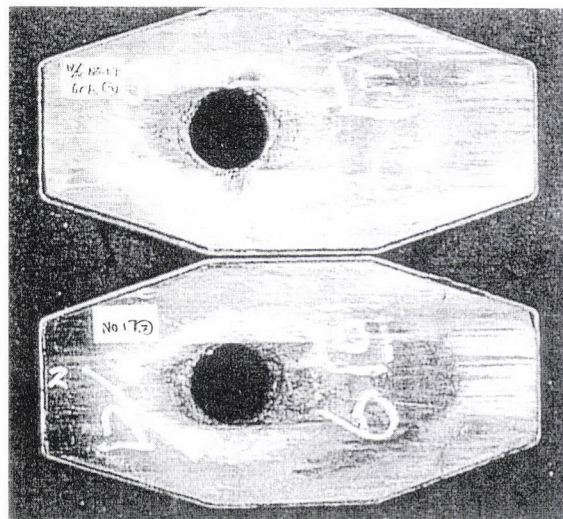


Fig. 5. Sliding plate after casting.

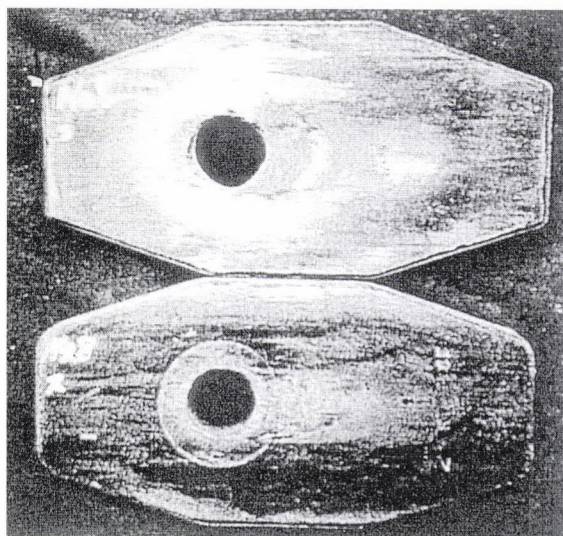


Fig. 7. Sliding plate after casting.
(Reformed sliding plate)

Table 3. Chemical composition of ladle brick.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	F・C	SiC
Used brick	2.5	55.7	0.9	1.5	28.7	8.4	1.6
New brick	1.8	55.7	0.5	0.9	29.4	9.8	—

(%)

2.4 再生レンガ技術

取鍋レンガはLF処理に代表されるように使用条件が過酷であるために、高品位の耐火物を使用しているのが一般的である。したがって、取鍋レンガへリサイクルするためには、廃レンガに付着する不純物（スラグ等）を極力除去することが必須条件となる。そのため、使用済みレンガを回収する段階で除去作業を実施し、不純物のピックアップ抑制を図った。Table 3 に除去作業を実施した回収廃レンガと原レンガの成分値比較を示す。スラグ成分であるSiO₂、Fe₂O₃、CaOの増加は若干認められるが、回収廃レンガのレベルとしては非常に良好であり、除去作業の効果が大きいと考えられる。

除去作業を実施しても不純物の完全除去は不可能であるため、廃レンガの混入比率を制限することが再生レンガを製作する上のポイントとなると考えられる。そのため、廃レンガ比率が諸特性に及ぼす影響を調査するべく、ラボテストでその影響を検証した。

- ・耐食性への影響：Fig.8 に廃レンガ混入比率と溶損指数の関係について示す。廃レンガ比率を増加するに従って溶損指数は急増する傾向にある。これは、廃レンガ中の不純物の影響と考えられる。
- ・耐酸化性への影響：Fig.9 に廃レンガ混入比率と脱炭指数の関係について示す。耐食性とは逆に耐酸化性は廃レンガ混入比率に伴って向上する傾向にある。この現象は、廃レンガ中に未反応の酸化防止材が残留しており、廃レンガ混入に伴って酸化防止材の絶対量が増加するためと推定される。
- ・残存膨張への影響：Fig.10に廃レンガ混入比率と残存膨張率の関係について示す。廃レンガ混入比率が増加するに従い残存膨張が低下する傾向がある。この現象は、廃レンガが既に熱膨張履歴を受け変化しているためと考えられる。

以上の結果から、廃レンガ混入比率は10～20%程度に抑えるのが適していると考えられるため、実鍋にて10%混合品、及び20%混合品（どちらもAl₂O₃-MgO-Cレンガ）使用テストにより評価した。湯当り部に10%混合品を、非湯当り部に20%混合品を施工した結果、新品レンガと比較して溶損は同等であることが判明した。

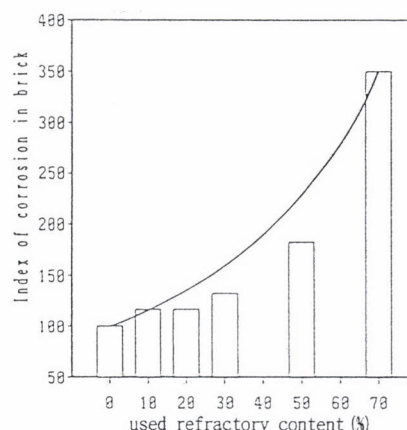


Fig. 8. Influence of used refractory content on corrosion.

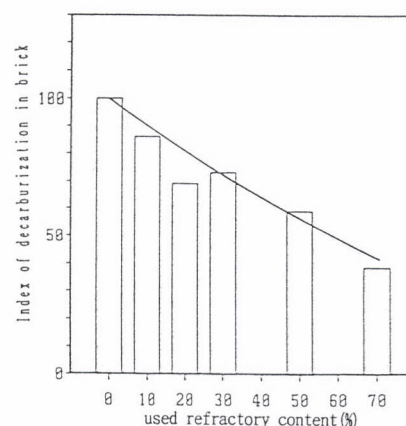


Fig. 9. Influence of used refractory content on decarburization of brick.

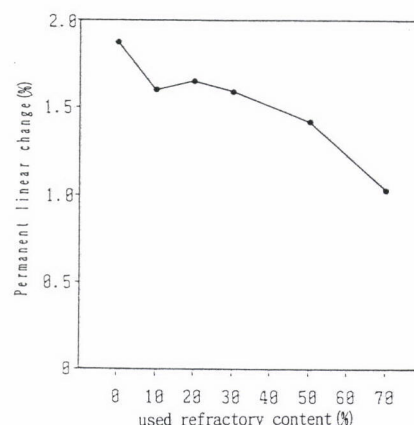


Fig. 10. Influence of used refractory content on permanent linear change.

Table 4 に再生レンガ使用状況を示す。取鍋への用途に限らず、電炉スラグライン、及びRH下部槽レンガへの適用も実施・拡大中である。

Table 4. Result of reformed brick application in Chita Plant.

I t e m	A r e a	C o n t e n t (%)	
		Recycle material	New material
MgO-C brick (Unburned)	Slagline in EAF	90%	10%
MgO brick (Burned)	Metalline in EAF	85%	15%
MgO-Cr ₂ O ₃ brick (Burned)	Bottom vessel in RH	100%	0%
Al ₂ O ₃ -MgO-C brick (Unburned)	Metal line in ladle	20%	80%

3. 結言

当社知多工場で発生する廃レンガの発生量は10kt/年にも及び、その発生量の低減を目的に、使用済み耐火物再利用技術開発を行ってきた。その結果、現在ではトータル45%のリサイクル率を実現するまでにいたっている。(Table 5)

今後、再生レンガ使用拡大、及び廃レンガを使用した不定形吹付材開発を推進し、さらなるリサイクル比率の向上を図っていく所存である。

Table 5. Result of used refractory application in Chita Plant.

	Material	Structural ratio used refractory (%)	Ratio of recycled refractory (%)	Application
E A F	MgO-C	1	1	MgO-C reformed brick
	MgO	1	1	MgO-reformed brick plug material of tap hole in EBT
	高Al ₂ O ₃	1	1	Plug material of tap hole in EBT
Ladle	MgO-C	10	6	Flux in LF, Castable
	AMC	16	11	Flux in LF, Castable
	MgO-Cr ₂ O ₃	10	9	Plug material of tap hole in EBT
R H	高Al ₂ O ₃	11	8	Plug material of tap hole in EBT Flux, Castable
	MgO-CaO	1	1	Repairing material for bottom in EAF
A O D	Porous plug	0.5	0.5	Castable
	S/Nplate	3	3	Reformed sliding nozzle
Tundish	MgO gunning	11.5	3	Flux in LF
	Long nozzle	1	0.5	Flux in LF
Others	Others	33	0	—
Index of total amount		100	45	—