

JFE スチールにおけるコークス炉の更新状況

Renovation of Coke Oven Batteries in JFE Steel

高橋 保 TAKAHASHI Tamotsu JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） コークス部 コークス技術室 主任部員（副部長）
永喜 正人 NAGAKI Masato JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） コークス部 コークス技術室 主任部員（課長）
前田 一成 MAEDA Kazunari JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） コークス部 コークス技術室 主任部員（副課長）

要旨

JFE スチールは長期稼働したコークス炉の生産性を回復する方法として、パドアップ工法とよばれる炉体基礎を流用した炉体更新を、2012 年の西日本製鉄所（倉敷地区）1A 炉更新以降実施してきた。現在、当社が保有する炉団の約 30% が更新を完了した。この間に進めてきた技術について紹介する。

Abstract:

As a method to recover productivity of coke oven batteries in long term operation, JFE Steel has carried out renewal projects to restore their productivity by a construction method called Pad-up from Kurashiki 1A oven batteries in 2012. To date, about 30% of coke oven batteries in JFE Steel have been renewed. This paper introduces some of the technologies applied until now.

1. はじめに

JFE スチールのコークス炉の多くは稼働より 50 年を経過し、老朽化が進行する炉体に対し、補修による延命および更新、新設¹⁾を適時おこなってきた。更新は、既存設備を活用することで、新設と比較し安価に長期的な生産性を復元できる有効な手段と言える。一方、更新期間中は生産できなくなることから、工事期間を可能な限り短縮することが求められた。また、更新にともなう大量の廃棄物の抑制、アスベスト等の飛散防止等の対応も必要であった。

1.1 コークス炉の老朽化

図 1 に、当社の主な老朽化したコークス炉について、稼働 30 年後の生産量を 1 とした生産性の推移を示す。すべての炉で、稼働 35 年を過ぎた頃から生産性が低下しはじめる。生産性の低下速度は炉ごとに違いはあるものの、稼働 40~50 年後には、稼働 30 年と比べて生産性は 60% 程度まで低下する。

老朽化が進むコークス炉に対し、吹付け・溶射などの簡易補修およびレンガの部分積替え・広範囲積替えなどの大規模補修を実施してきたが、生産量の回復効果は限定的であることから、順次コークス炉を更新してきた。

1.2 JFE スチールのコークス炉更新実績

表 1 は、老朽化により更新したコークス炉の一覧である。更新後の炉形式は、技術力および近年の実績を評価し、

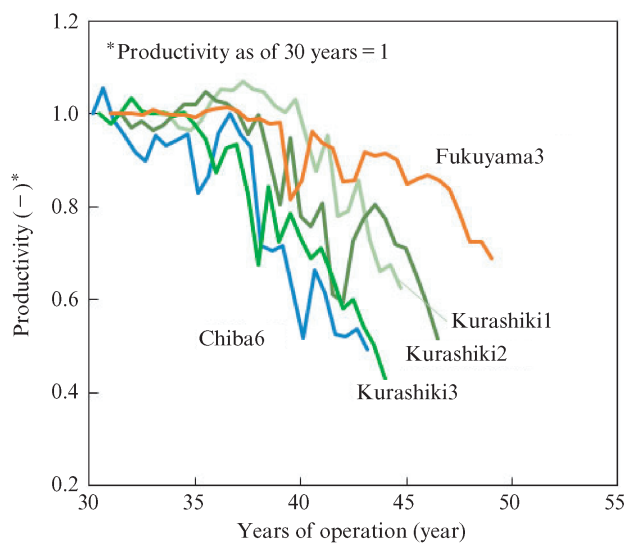


図 1 コークス炉の生産性の変化

Fig. 1 Productivity trends of coke oven in JFE steel

Otto 式の炉体技術を踏襲する thyssenkrupp IS (旧 Uhde) 式および Paul Wurth 式を採用した。

更新にあたってはすべてパドアップ工法を採用し、約 9 年半かけて 3 地区 9 炉団の合計 415 門を更新した。

2. 採用したコークス炉更新工法

2.1 パドアップ工法

図 2 は、当社で実施したコークス炉パドアップ工法における更新範囲の一例を示したものである。

表 1 更新したコークス炉一覧

Table 1 Replaced coke oven batteries in JFE steel

Coke oven batt.	Age	Number of oven	Oven type		Replacement period										
			Before replacement	After replacement	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	
Kurashiki 1A	45	39	Carl Still	Uhde	█	█									
Kurashiki 3A	45	43	Carl Still	thyssenkrupp IS			█	█	█						
Kurashiki 3B	45	43	Carl Still	thyssenkrupp IS			█	█	█						
Kurashiki 2A	47	42	Carl Still	Paul Wurth					█	█					
Kurashiki 2B	46	42	Carl Still	Paul Wurth					█	█					
Chiba 6A	41	51	Carl Still	thyssenkrupp IS				█	█	█					
Chiba 6B	42	51	Carl Still	thyssenkrupp IS						█	█				
Fukuyama 3A	49	52	Wilputte Otto	Paul Wurth							█	█			
Fukuyama 3B	50	52	Wilputte Otto	Paul Wurth									█	█	

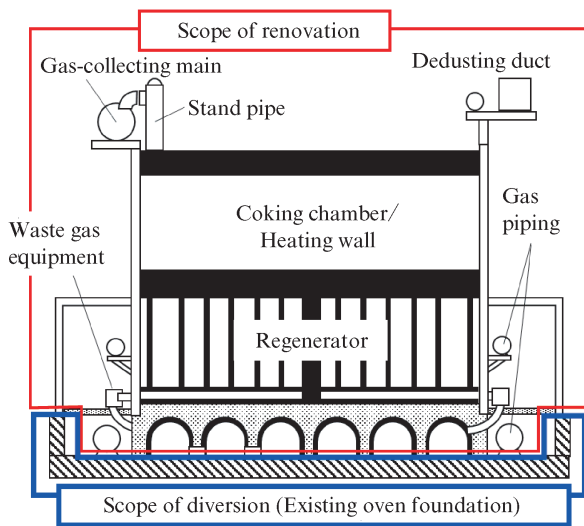


図 2 コークス炉パドアップ工法の更新範囲

Fig. 2 Renewal scope of coke oven Pad-up method

図 2 に示すとおり、パドアップ工法とは、既設炉体の基礎のみを残し、レンガおよび金物類を更新²⁾する工法である。パドアップ工法では、流用する基礎範囲についての建設工程が不要となり、新規にコークス炉を建設する場合と比較し、以下のメリットがあげられる。

- (1) 短工期 既設炉体の解体撤去は必要であるが、杭打ちから始まる基礎工事工程がない。
- (2) 低コスト 基礎以外にも既存の周辺設備（移動機、集塵機、搬送設備、コークス消火設備など）の流用が可能である。

一方、デメリットとしては、以下の点があげられる。

- (1) 既設コークス炉を停止・撤去してから建設工事を開始する必要があるため、一時的にコークス生産能力が低下する。
- (2) 流用する基礎形状に炉体設計が制約されるため、生産能力の増大は難しい。

当社では、これまで計 9 炉団のコークス炉をパドアップ工法によって更新してきた。以下に、その中で適用してきた技術を紹介する。

3. コークス炉更新の技術紹介

3.1 環境に配慮した解体技術

表 2 に、コークス炉を更新する際に発生する廃棄物の種類、物量（重量比）の一例を示す。コークス炉の解体により大量の廃棄物が発生する。これらの処理については、工事計画早期から所管する行政（県、市）の協力を仰いで進めており、また可能な限り資源化に努めた結果、約 5 割が廃棄されることなく再利用されている。

古いコークス炉にはアスベストが使用されており、部位によっては現在もアスベストとして残留していることから、これらが解体により飛散したり、不適切に処理されたりしないよう管理している。具体的には、事前、事後にサンプリングし、その結果を踏まえて対応を決定している。コークス炉下部にある蓄熱室に使用されるアスベストは、事前分離除去が困難であることから、コークス炉全体を覆う仮上屋を建て、これに負圧集塵機を設置して解体している。図 3 に上屋外観と蓄熱解体の状況を示す。この仮上屋を、解体完了

表 2 廃棄物の内訳

Table 2 Waste contents

Classifications	Contents	Transaction	Qty (%)
Refractories	Silica-brick	On-site recycling	32
	Chamotto-brick	Off-site recycling	8
	Regenerator	Landfill disposal	34
Iron scrap	Structures	On-site recycling	15
Rubble	Concrete & other	Landfill disposal	11
Other	Tar, Asbestos etc.	Industrial waste	Trace
			100

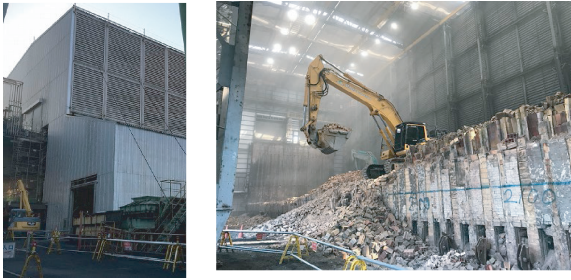


図3 上屋外観と解体状況

Fig. 3 Temporary shed and demolition contents

後内部を清浄化した後、基礎、築炉工事、機械工事、耐火物乾燥までの期間使用することで、風雨に影響されず工事が進められる。

3.2 工期短縮のための取組事例

パドアップ工法は、スクラップ&ビルド型工事となるため、長期にわたる減産を回避する対策として、工期短縮や迅速な立上げによる設備能力の早期発揮が求められる³⁾。そこで、当社がこれまでのコークス炉パドアップ工事で工期短縮を目的として行った取組事例について紹介する。

3.2.1 基礎・煙道のプレキャスト施工

プレキャスト施工とは、工場または現場近くの地上で予め建築物の一部を部品として作製し、現場ではこれらを組立てて建築物を造る工法をいう⁴⁾。プレキャスト施工と現場打ち施工とを比較すると、プレキャスト施工は現場での型枠設置工事が不要となり、その分現地工事の工期が短くなる特徴がある。

これまでのコークス炉更新の中で、プレキャスト施工の適用範囲を拡大してきた。図4は、コークス炉更新工事でプレキャスト施工を採用した実績がある範囲をまとめたものである。プレキャスト施工を拡大するにあたり、取合いのある炉体設備側の要求する据付精度の達成が困難な箇所もあったが、プレキャスト製作時に埋込む金物の対象や形状を工夫することで解決し、採用範囲を順次拡大した。

プレキャスト施工の採用により、すべて現場打ちで施工したプロジェクトと比較して、工程が約1か月短縮した。なお、プレキャスト施工範囲を拡大すると、現場打ち施工の場合と比較してコストがアップするため、採用範囲の決定にあたっては、コークス生産量低下の抑止効果との比較が必要である。

3.2.2 築炉工事と並行した炉体機械設備据付

コークス炉の大部分はレンガで構成されており、築炉工事はコークス炉建設におけるメイン工事である。当社は、これまでのコークス炉更新工事の中で、可能な限り築炉工事と並行して炉体機械設備の据付を行ってきた。

図5は、コークス炉更新工事で、築炉工事期間中に据付けた機械設備をまとめたものである。築炉工事と並行した

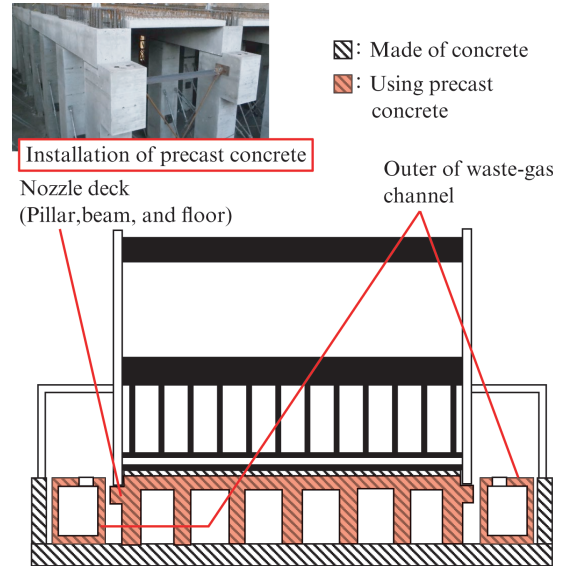


図4 コークス炉更新におけるプレキャスト施工適用実績

Fig. 4 Actual results of using precast concrete for coke oven renewal

機械設備据付の施工範囲は、大きく2つのエリアに分けられる。1つは、レンガを支えるノズルデッキ下面レベルより下の地下エリア（Underground area）である。このエリアは、築炉工事と資機材搬入ルートに分けることで、築炉工事の序盤から並行して作業できるようにした。2つ目は、それより上の炉底エリア（Oven bottom area）であり、このエリアでは、築炉工事の蓄熱、コーベル、側煙道のレンガ積みが完了したのちに、燃焼室の築炉と干渉しないように養生を行うことで機械設備据付を進めた。

表3は、築炉工事期間中の炉体機械設備据付工事の実績

- : Area of foundation
- : Constructing before brick work
- : Area of brick work
- : Construction in parallel with brick work

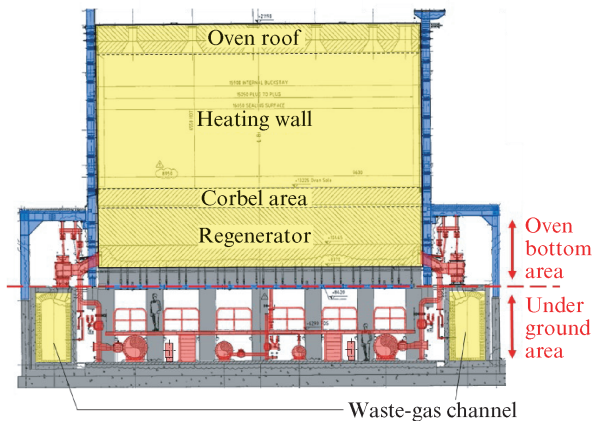


図5 築炉工事中の炉体機械設備据付実績（一例）

Fig. 5 Actual results of constructing mechanical parts during coke oven brick work (example)

表 3 築炉工事中の炉体機械設備据付工程（一例）

Table 3 Schedule of coke constructing mechanical parts during coke oven brick work (example)

		mo.	1	2	3	4	5	6	7	8
Brick work	Coke oven		Setup	Regerator and corbel	Heating wall			Oven roof		
	Waste-gas channel		Setup	Wall, arch, and floor						
Mech. work	Under ground area		Piping		Heating and reversing system					
	Oven bottom area		Deck, handrail, and others							
			Bracing and waste-gas system							
							Heating and reversing system			

工程である。表3より、築炉工事の進捗と合わせ、施工エリアが重ならないように順次工事を進め、最大限並行して工事を行っていることがわかる。本取組により、全体の工期短縮に加え、築炉工事後の機械設備据付工事の物量を低減し、施工負荷を平準化できた。

3.2.3 ドライメイン周辺デッキおよび配管の事前艤装・一体上架（大ブロック工法）

ドライメインとは、コークス炉でコークスを製造する際に副次的に発生するコークスガスを吸引し、後工程のガス処理設備へ誘導する配管設備である。

図6は、更新後のコークス炉体のドライメイン周辺設備の一例である。ドライメインは、上昇管設備を介してコークス炉本体と繋がっており、その周辺には、上昇管周辺の作業、点検およびメンテナンス用途のため、デッキおよび用役配管が多数設置されている。

表4は、ドライメイン周辺デッキ上に敷設されている用役配管の、用役種別と物量の一列を示したものである。図6および表4から、ドライメイン周辺デッキ上には、多量の用役配管が敷設されていることがわかり、例示したプロジェクトでは、炉団内用役配管全体の物量の約27%がドライメイン周辺デッキ上に集中している。そのため、デッキ据付後に現地で用役配管を敷設する工程は、築炉工事後の機械設備据付の中で大きな割合を占めていた。

そこで、ドライメイン周辺デッキを事前にオフラインで地組みし、その上に用役配管、付帯機器および手摺・安全柵などを可能な限り艤装し、一体上架する大ブロック工法を検討、実施してきた。

図7は、事前艤装完了後のドライメイン周辺デッキの一例を示したものである。図7に示すとおり、デッキ全長にわたって事前組立し、デッキ上の設備は、上昇管設備と取合いのある範囲や、現地搬入時のブロック分轄点付近など、現地据付後に施工が限定される範囲以外は、用役配管、床板、手摺および安全柵などをすべて事前に地上で艤装工事を行った。

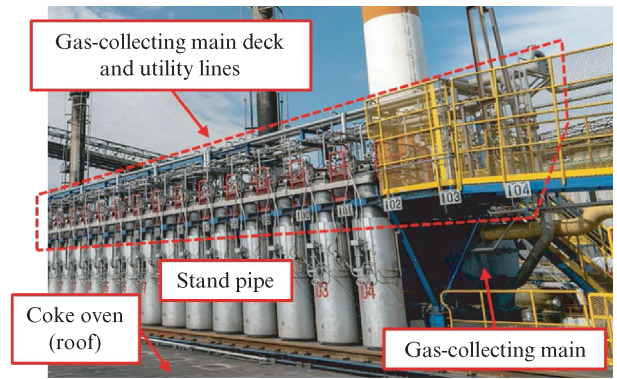


図 6 コークス炉更新後のドライメイン周辺（一例）

Fig. 6 Around gas-collecting main area after coke oven renewal (example)

表 4 ドライメイン周辺デッキ上の用役配管物量（一例、52門/炉団分）

Table 4 Quantity and weight of utility piping around gas-collecting main area (example 52oven/battery)

Utility	Weight of piping (kg)	Remarks
(1) Water	543	—
(2) Ammonia liquor	11 889	Total of high and low pressure piping
(3) Air	4 057	—
(4) Steam	376	—
(5) Others	698	Pressure guiding tube, et al.
Total	17 563	About 27% of total utility piping for one battery

艤装後のデッキは、現地搬入が可能な寸法のブロックに分割し、仮上屋内部へ台車を使用して横引きし、天井クレーンを使用して現地据付を行った。本工法の採用により、全体工程の中で機械設備据付工事の施工負荷を平準化することにも大きな効果が得られた。

3.2.4 炉乾燥・昇温中の炉頂設備据付前倒し

コークス炉立上げ前の炉乾燥・昇温工程には、『バーナーヒーティング（以下、BHと略記）』という仮設バーナーを用いてレンガ・モルタルの中の水分を乾燥させ、燃焼室レンガ自体の温度により燃料ガスが自然着火する温度（約800℃）まで昇温する工程と、『レギュラーヒーティング（以下、RHと略記）』という通常操業と同様に燃焼ガスを供給・燃焼させ、炉体を操業可能な温度まで昇温する工程がある。

表5に炉乾燥・昇温中の炉頂設備の据付について、一般的な工程と当社のコークス炉更新工程を示す。

仮上屋は、築炉から炉乾燥までの炉体の雨濡れ防止⁵⁾のために設置される仮設の建屋であり、BH途中で、炉体レンガ温度が雨に濡れて問題のない温度域になってから解体さ



図7 事前艦装後のドライメイン周辺デッキ（一例）

Fig. 7 Gas-collecting main deck finished pre-assembly on the ground (example)

表5 炉乾燥・昇温中の炉頂設備据付工程（一例）

Table 5 Schedule of constructing mechanical parts in oven roof area during coke oven heating-up (example)

		mo.	1	2	3	4	5
General construction	Heating-up		BH		RH		
	Temporary shed			Demolition			
	Oven roof area mech. parts			Installation	Finishing		
JFE-Steel construction	Heating-up		BH		RH		
	Temporary shed			Demolition			
	Oven roof area mech. parts		Installation		Finishing		

れる。一般的な工程ではその後に炉頂機器の据付が行われていたことから、炉頂設備据付がクリティカルパスとなっていた。そこで、当社は、仮上屋がある状態で炉頂設備の据付を開始することにより工程の短縮を図った。

図8に当社が実施した炉頂設備据付のイメージを示す。図8(a)に示すとおり、炉頂設備は、移動式クレーンにより地上から既設デッキ上の台車へ上架し、台車を横引くことで仮上屋内部へ搬入した。搬入された炉頂設備は、仮上屋内の天井クレーンを使用して据付けた。図8(b)に、仮上

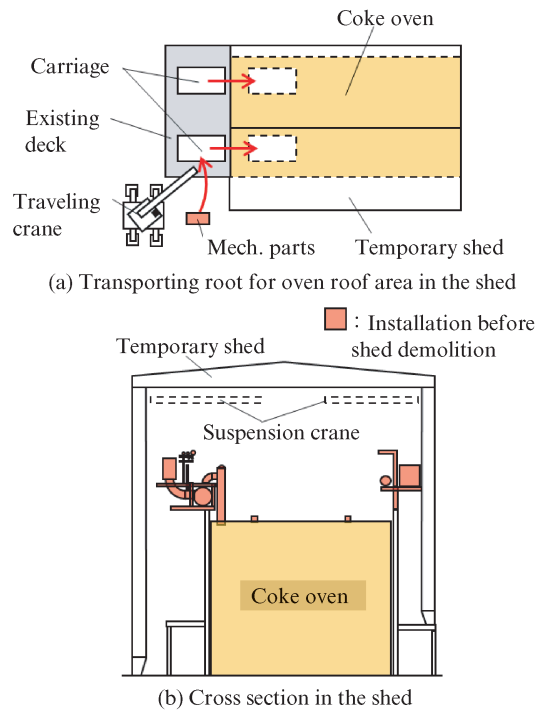


図8 炉乾燥・昇温中の炉頂設備据付イメージ

Fig. 8 Schematic images of constructing mechanical parts in oven roof area during coke oven heating-up

屋解体前に据付けた炉頂設備を示す。天井クレーンを最大限活用した炉頂設備据付の前倒しには、3.2.3節で述べたドライメイン周辺デッキの大ブロック工法の採用も大きく寄与している。

なお、この施工では、炉体熱膨張による炉頂設備の据付位置変化を考慮した据付を行う必要がある。

4. 立上げ期間の短縮

生産を開始してから所定の生産量に到達する期間の最短化にも取り組んだ。

コークス炉の立ち上げは、燃焼ガス量・カロリー・ドラフト等の炉団全体の燃焼条件を整えることに加え、各燃焼室内の温度分布の調整および全燃焼室の状態が等しくなるような調整の必要がある。各燃焼室には燃焼ポートが約30か所あるため、1炉団あたりの燃焼ポート数は約1200~1500か所にのぼる。コークス炉の立ち上げは、これら全ての燃焼ポートの温度測定および調整を繰り返し実施するため、多大な労力を要する。

図9は、一連のコークス炉更新が始まった頃の更新炉と直近の更新炉の、所定生産量を1とした場合の初装炭後の生産性推移である。以前は、初装炭時の生産量を0.6程度として、所定生産量に到達するまでに約2か月を要していた。燃焼調整は初装炭直後から所定生産量に到達するまでの間に3~4段階で実施し、それぞれ約1週間~10日間かけて燃

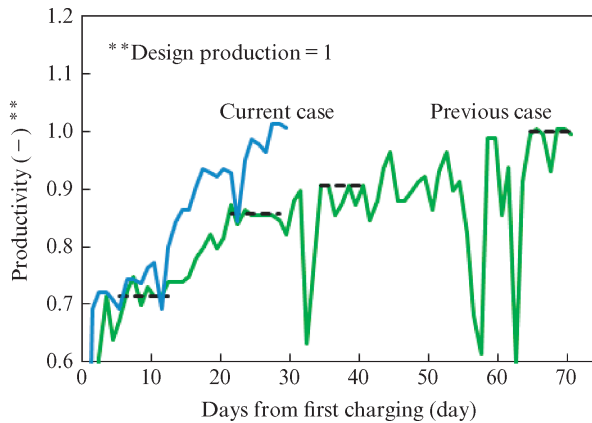


図9 初装炭後の生産性推移

Fig. 9 Trends of productivity after first charging

焼条件および燃焼室内の温度分布を調整していた（図中の破線部）。

これまでの約10年間におよぶコークス炉更新で、燃焼条件や温度分布調整の知見に加え、昇温・レーティングアップ速度についても知見が蓄積されてきた。そのため、それらの知見を次のコークス炉更新に反映することで、立ち上げ期間を徐々に短縮してきた。特に、燃焼室内の温度分布調整はガスポートの開口調整に時間がかかるため、開口量の初期設定に従来知見を反映することで立ち上げ期間を大きく短縮できるようになった。直近の事例では、初装炭後の生産量は以前と変わらないものの、燃焼調整期間を大幅に短縮することによりほぼ連続的に昇温可能となり、初装炭から約1か月で所定生産量まで到達できた。

5. おわりに

JFE スチールが行ってきたコークス炉更新について紹介した。

昨今、石炭を使用するコークス炉は、SDGsやCO₂排出量削減の観点から、設備の新設、更新はもとより稼働の継続も課題となっている。一方で、コークス炉は品質の良い鋼を製造するために重要なプロセスであることから、今後はこれらの観点を踏まえた建設、更新、延命の検討を進めていく必要があると考える。

参考文献

- 1) 加藤元, 山本雅章, 永岡恒夫. 西日本製鉄所(福山地区)第5コークス炉D団の建設と操業. JFE 技報. 2008, no. 22, p. 6-10.
- 2) 滝沢謙. 次世代コークス技術の展望. 鉄と鋼. 1992, vol. 78, no. 7, p. 969-976.
- 3) 中居幸也, 増井政樹, 山岡圭, 本山太一, 布施政人, 小川歩. コークス炉パドアップにおける設備の最適設計. 材料とプロセス. 2018, vol. 31, no. 1, p. 132.
- 4) 加藤六美. プリキャストコンクリート. 窯業協会誌. 1962, vol. 70, no. 802, p. 425-429.
- 5) 谷口雄大, 松石長之, 辻本裕之, 小崎照卓. コークス炉仮設上屋の安価化, 短工期化に向けた取組. 新日鉄住金技報. 2016, vol. 405, p. 39-45.



高橋 保



永喜 正人



前田 一成