

技術論文

コークス炉仮設上屋の安価化，短工期化に向けた取組

Low-Cost and Short-Term Construction of the Temporary Building for Coke Oven

谷 口 雄 大*
Yudai TANIGUCHI松 石 長 之
Nagayuki MATSUISHI辻 本 裕 之
Hiroyuki TSUJIMOTO小 崎 照 卓
Shohtaku KOZAKI

抄 録

製鉄設備の一つであるコークス炉は稼働後約 40 年で寿命を迎え，稼働レベルが大幅に低下する。コークス炉の老朽化による製鉄減産に対応するためコークス炉の新設，更新が数多く計画されており，建設の安価化，短工期化が重要な課題となっている。そこで，コークス炉建設のクリティカル工程となっている築炉用仮設上屋について，必要機能，空間を見極め形状の見直しを実施することで抜本的な安価化，短工期化を図る。開閉式屋根の適用およびコークス炉設備の利用により，従来に比べ仮設上屋の空間を大幅に削減し，鋼材量の 150 トンの削減と建設工期の 30 日の削減を実現した。

Abstract

The coke oven, which is a major facility in a steel plant, has a life span of approximately 40 years, and its operation level plunges when nearing its end. Many constructions and restorations of coke ovens are scheduled in the near future to act on coke production cut backs, and low-cost, short-term construction is an important challenge. This can be achieved by determining the required functions and space and revising the shape of the temporary building for the furnace installation, which is a critical pass in coke oven construction. Application of a movable roof and utilization of coke oven equipment minimized the space of the temporary building, and enabled 150 tons reduction of steel and a 30 day reduction in construction time compared to conventional designs.

1. 緒 言

新日鐵住金(株)では設備技術者がオーナーズエンジニアとして製鉄設備の計画，設計，建設を行う体制を整えている。この中で土木建築技術者は，自らが担当する構造物に必要な機能を見極め，操業方法や機械荷重，設備レイアウトに至る条件の見直しや，他要素設備の設計変更，さらには工場建屋の建設要否にまで踏み込んだ計画，設計を行うことで，所定の性能を確実に確保しながら徹底的な安価化，短工期化を志向した土木建築設備の構造および建設方法を追究し実現してきた。

本報告では，コークス炉の新設，更新の際に建設するコークス炉仮設上屋における，安価化，短工期化に向けたこれまでの技術開発や取組を紹介するとともに，建屋に求められる機能を見直して開発した次世代の仮設上屋について述べる。

2. コークス炉仮設上屋の特徴

新日鐵住金で保有しているコークス炉は，大半が稼働 36 年以上の老朽炉（平均炉令 41.5 年）であり，窯口狭小化や煉瓦破孔が発生する等，稼働レベルが大幅に低下している。既設コークス炉の老朽化による製鉄減産に対応すべく，現在までにコークス炉の新設，更新が数多く実施されており，今後も多数計画されている。

コークス炉は図 1 に示すように煉瓦積みによる炉体と，炉体を締め付ける役割のバックステー，炉のメンテナンスや移動機走行路となるプラットホーム等から成り，その上部および側部には配管等や移動機が存在する。新設，更新のために建設されるコークス炉仮設上屋は，築炉から炉乾燥までの炉体の雨濡れ防止と，炉周辺設備の上架，設置のためのサスペンションクレーンを支持する機能を持ち，図 2 のようにコークス炉全体を大きく覆う構造となる。仮設上屋は炉体の構築にのみ必要な建屋であり使用期間 1 年未満となる期限付き構造物であるが，その建設，撤去工程は

* 設備・保全技術センター 土木建築技術部 建築技術室 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

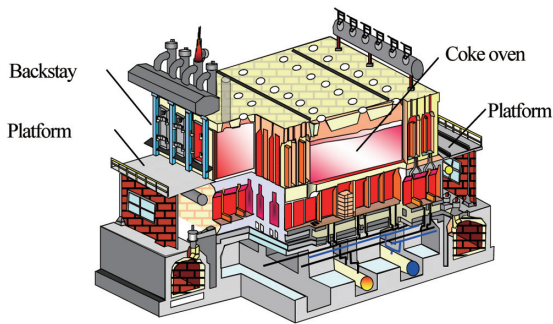


図1 コークス炉概要
Overview of coke oven

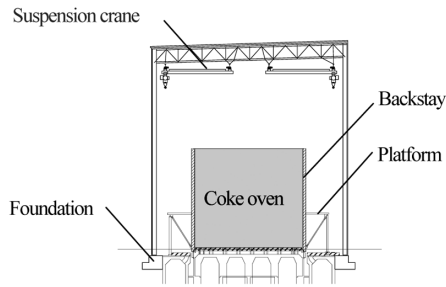


図2 コークス炉仮設上屋
Temporary building for coke oven

コークス炉建設におけるクリティカル工程となっており、全体工期のうち約2割を占めている。そのためコークス炉建設の安価化、短工期化のため仮設上屋の工事費削減、工期短縮が特に重要な課題となっている。

3. 安価化、短工期化に向けたこれまでの取組事例

これまで実施してきたコークス炉仮設上屋の安価化、短工期化に向けた取組として、施工省力化および構造ボリューム削減を目指し図3に示す項目を検討、具現化している。

3.1 ワイヤー斜材の適用

仮設上屋の梁間方向にワイヤーによる斜材を設け、骨組が負担する水平力を軽減させ仮設部材の軽量化を図る。大分製鉄所第5コークス炉で適用した写真を図4に示す。各部材断面をスリム化することで全体の工事を削減できた一方、ワイヤーが壁を貫通するため当該部の雨仕舞いが発生し施工難易度が增大する。また、ワイヤーを仮設上屋周辺に張り巡らせるため、周囲の工事に利用できるスペースが制約を受け工事車両の動線制限や仮置き場縮小等の影響が生じる。ワイヤーが建築工事および機械工事の際に妨げとなる可能性があるため、工事エリア周辺に十分なスペースを有しその他工事に影響がない場合に採用可能である。

3.2 端部擁壁の利用

操業時のコークス炉の膨張を抑制するために設置される端部擁壁は桁行方向の水平力に対して設計されるため、梁

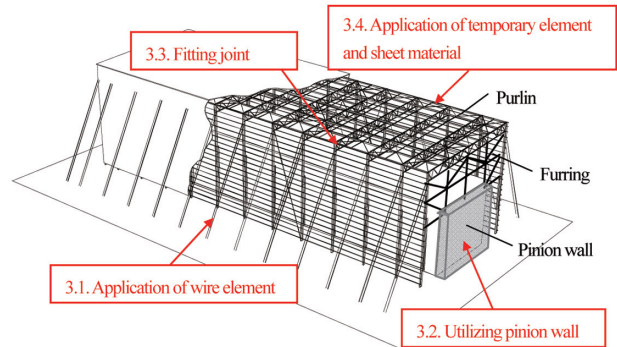


図3 仮設上屋の安価化、短工期化に向けた取組事例まとめ
Conventional method of low-cost and short-term constructing



図4 ワイヤー斜材の適用実施例 (大分製鉄所第5コークス炉)
Application of wire element (No.5 coke oven in Oita Works)

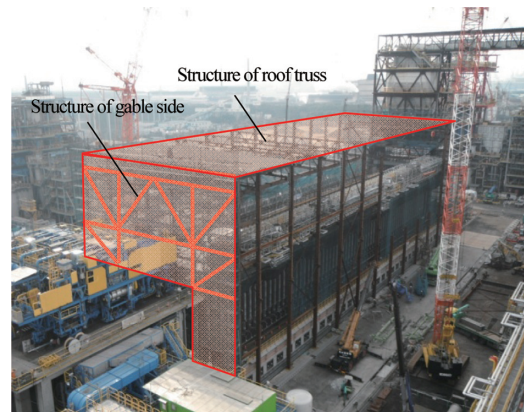


図5 端部擁壁利用の実施例 (名古屋製鉄所第5コークス炉)
Utilizing pinion wall (No.5 coke oven in Nagoya Works)

間方向に対しては構造耐力上、余裕をもっている。この点に着目し、仮設上屋の小屋面および妻面の骨組剛性を向上させることで、梁間方向の水平力を端部擁壁に伝達し中間骨組の部材を軽量化する。これまで室蘭製鉄所第5コークス炉および名古屋製鉄所第5コークス炉 (図5) にて採用しており、仮設上屋部材のスリム化によって鋼材量を約3%程度削減している。当構法は擁壁端部の妻面の骨組部材は大型するものの他工事の支障となるような影響はなく、今後、ほとんどの案件で適用可能である。

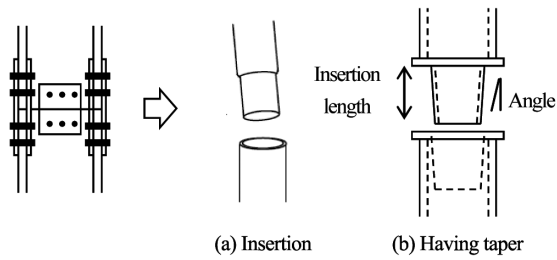


図6 嵌合接合ディテール
Detail of fitting joint



図7 接合部簡略化実施例（名古屋製鉄所第5コークス炉）
Application of fitting joint (No.5 coke oven in Nagoya Works)

3.3 接合部簡略化

鉄骨構造の接合部は、溶接接合またはボルト接合を用いて半永久的に緊結を維持しておく必要があるが、仮設上屋は使用期間1年未満の期限付き構造物であるため、必ずしもこれらの接合規定を満足する必要はなく、着脱を容易にする接合部が求められる。これまで解体時にボルトを緩めようとしても発錆によってうまく外すことができず、多くの部材をガス切断して解体している。

簡易着脱を可能とする新しい鉄骨接合法として、差込むだけで接合部が完了する嵌合接合を適用した。吊り上げた鉄骨をその場所に置くだけで接合が完了できるため、建設、撤去両工程において短工期化が可能となる。嵌合接合は自重による接合を考慮し、仮設上屋の柱継手に適用する。

接合部に求められる力学的性能は曲げモーメントを伝達することであり、その手法として、図6(a)のように差込み式のディテールが適用できるが、施工性を考慮し差込み口にある程度のクリアランスが必要となるため、施工時の作業性と接合部の密着性を両立させる方法として図6(b)のように嵌合接合部にテーパをつける方法を採用する。接合部が外れず十分に荷重を伝達させるために必要なクリアランス、テーパ角度、差込み長さについては、要素実験により性能を確認しており、名古屋製鉄所第5コークス炉にて適用している（図7）。仮設上屋解体時には、嵌合接合部への内部応力の発生によりガス切断が必要になる等、簡易な取外しが不可となる場合があり、解体時の施工性改善が課題となる。



図8 仮設材、シート素材適用の実施例（和歌山製鉄所第1Aコークス炉）

Application of temporary element and sheet material
(No.1A coke oven in Wakayama Works)

3.4 仮設材、シート素材の適用

仮設上屋は仮設構造であるため、設計に用いられる荷重条件（風荷重、積雪荷重）を低減し構造設計を行う。また、建築確認申請の対象外となることから仮設材を用いた架構の構築が可能である。和歌山製鉄所第1Aコークス炉では、主架構に仮設材を用いることに加えて外壁にシート素材を活用することで施工省力化に取組み、工期短縮に挑戦している（図8）。シート素材の緊結部や重ね部において浸水対策を実施する必要がある等、仕舞部の施工方法が課題となる。

以上、これまでに実施された取組は、部材ボリュームの削減や部材の設置、解体の省力化といった部材視点、骨組視点の改善であり、さらなる安価化、短工期化に向けては構造視点での抜本的な改善が必要と考えられる。そこで、新たな取組として、建屋形状および必要機能といった設計条件を一から見直し、さらなる改善に向けた仮設上屋の開発を実施した。

4. 安価化、短工期化に向けた最新の取組

4.1 着眼点

仮設上屋は築炉期間中の炉体煉瓦の雨濡れ防止と、炉周辺設備の上架、設置のための揚重設備（サスペンションクレーン等）の支持のため、コークス炉全体を大きく覆っている。さらなる安価化、短工期化に向けた取組にあたり、設備計画段階での改善に取組むため仮設上屋形状の決定要因を洗い出し、必要機能に応じた最小限の設備となるよう形状の見直しを実施する。

仮設上屋形状の決定要因の一つにサスペンションクレーンの揚程がある。特に揚程が必要となる炉上部の吊作業については、炉体構築後の機械工事にのみ使用されるため使用期間が短く遊休期間が多く存在する。そこで、炉上部の揚重機能を、屋根開口と外部に設置した移動式クレーンにて代替させサスペンションクレーンを排除することで建屋高さを極限まで削減する（図9）。屋根の開閉方法には様々

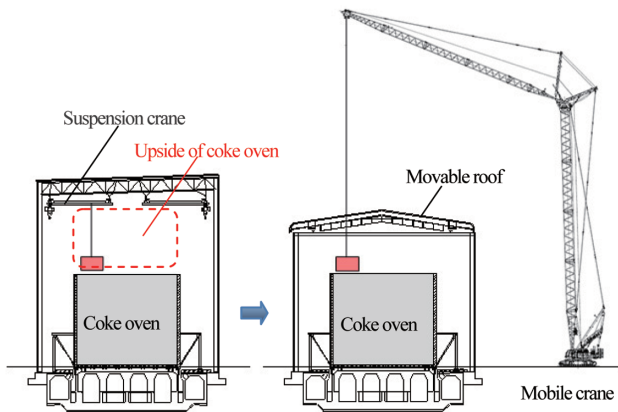


図9 サスペンションクレーンの機能代替手法
Alternative approach of suspension crane

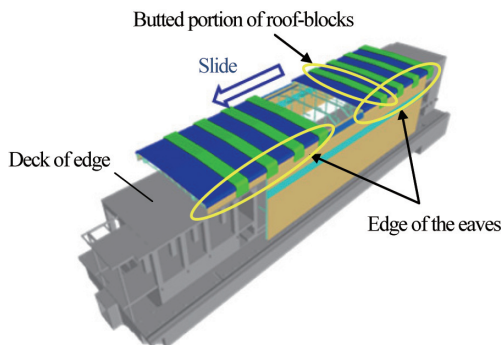


図10 開閉イメージ
Outline of movable roof

な手法が考えられるが、コークス炉仮設上屋では、コークス炉上部への機器据付のため、高頻度かつ任意箇所の屋根開閉が必要となることから、ブロック化した屋根をスライドさせ個別に自走できる開閉式屋根を適用する（図10）。コークス炉端部には炉団毎に端デッキまたは中間デッキと呼ばれる移動機の点検・補修スペースがあるため、当該デッキ上に屋根ブロックの退避スペースを確保し、各屋根ブロックをスライドさせることで炉上全範囲の開閉を行う。

続いて、仮設上屋の幅寸法の見直しを実施する。仮設上屋の柱は、コークス炉周辺設備と構造分離するため炉体を構成する機械構造部材の外側に配置される（図11）。機械構造部材であるバックステー（以下BS）、プラットホーム（以下PH）は操業時の炉膨張荷重によって設計されるため、仮設上屋が存在する築炉、炉乾燥期間は十分な設計余力が存在する。加えて、サスペンションクレーン排除により建屋荷重の低減が可能のため、BS、PHに仮設上屋のメインの柱としての機能を代替させ荷重の大半を負担させることで、建築構造部材の削減を図る。BS、PHと仮設上屋との構造一体化イメージを図11に示す。

以上の視点により、必要機能を保持したまま建屋のボリュームを極限まで削減した新たな仮設上屋を提案し、建築工事の安価化、短工期化に取組む。

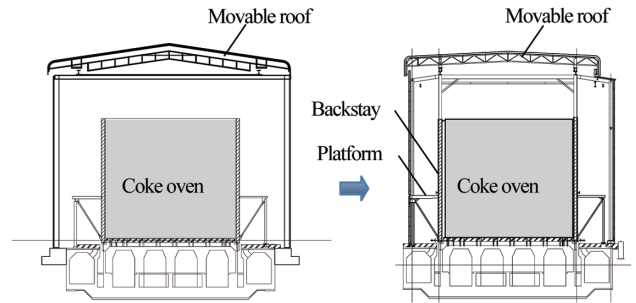


図11 バックステー、プラットホームとの構造一体化手法
Composite approach using backstay and platform

4.2 実現に向けた課題

開閉式屋根を有する構造物は一般的に広く適用されているが、適用事例としてはドーム構造物が多く、コークス炉仮設上屋に使用する場合と比べ用途や開閉頻度が大きく異なる。そこで、仮設上屋に開閉式屋根を適用した場合の技術課題を下記のように抽出し検討する。

(1) 開閉式屋根の止水性能

開閉式屋根の適用にあたり、各屋根ブロック端には隙間が生じ風雨の吹き込みが懸念される。ドーム構造物等の開閉式屋根に用いられる雨仕舞い構造は、中空のゴムチューブを突合わせ内部に空気を圧送することで止水するものやゴムチューブ、樋等を組合せた密着性が高い構造であるため、簡易かつ安価な構造が求められる仮設上屋には適さない。そこで、仮設上屋に使用する開閉式屋根について雨仕舞い構造を検討し、その止水性能を確認する。

(2) 開閉式屋根の駆動方法

コークス炉仮設上屋での屋根開閉目的であるコークス炉頂部への機器の据付は、コークス炉全域での開閉や、10回／日程度の頻繁な開口場所の移動が必要となる。機械工事の迅速化のため、任意箇所に必要範囲のみ開口を設けることができる駆動方法を検討し駆動装置の設計、検証を行う。

(3) コークス炉設備の利用

BS、PHを仮設上屋の構造要素として取り込み一体化した構造では、仮設上屋荷重の付加により、BS、PHの応力、変形の増大が考えられる。そこで、構造物全体として要求性能を満足する構造モデルの構築と構造安全性の検証を行い、新たな仮設上屋が構造上成立することを実証する。

5. 課題解決に向けた具体的取組

5.1 開閉式屋根の止水性能

開閉式屋根は屋根閉鎖時の隙間に止水ラインを形成させる必要があるが、適用箇所が折版屋根となり山谷が連続する形状となるため、止水材には通常用いられる鋼板製の役物ではなく、柔らかく複雑な形状に追従できる素材としてゴムシートを用いる。仮設構造である仮設上屋に開閉式屋根を適用する場合、経済性を考慮した設計とするため小屋面剛性が低く、走行によって屋根ブロックが回転、変形し、

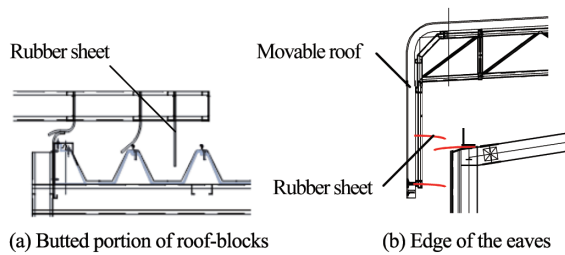


図 12 開閉式屋根の雨仕舞い方法
Weathering of movable roof

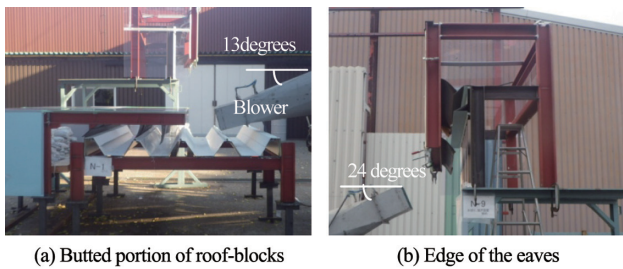


図 13 試験体写真
Photo of waterproof test

ずれが生じる可能性がある。また、コークス炉建設工事においては工事エリアが狭隘になることが多く、地組が可能な程度まで各屋根ブロックの小型化が求められる。屋根の分割数が増加することで継目の止水が多数生じる。そこで、できるだけ簡易、安価で走行時のずれに対しても止水が可能な開閉式屋根の雨仕舞い構造を検討する。

図 10 に示す“屋根ブロック間”は、図 12 (a) のように、底状の張り出し部を設けその下方に設置したゴムシートと折版の接触によって止水する構造を持つ。下方に収める相手方の屋根ブロックの加工が不要で非常に簡易な構造とすることが可能となる。また、複数のゴムシートの配置を工夫することで完全な閉鎖状態以外でも止水が可能となる。図 10 に示す“軒先”については、屋根と壁の隙間からの浸水を防ぐため、壁の内側に複数枚のゴムシートを互い違いに設置し上下方向の吹き込みを防止する（図 12 (b)）。

部分モデルを用いた耐風、耐水試験を行い、“屋根ブロック間”および“軒先”について雨仕舞いの信頼性を検証する。試験体は“屋根ブロック間”と“軒先”を模擬した2種類とする。実験変数はゴムシート厚、屋根ブロック間のずれ距離、止水板の有無とする。ゴムシートは安価な天然ゴムを選択し、厚さは5、10mmの2種類を用いる。屋根ブロック間のずれ距離は、屋根の回転、変形を考慮し初期位置に対して250mmとする。試験体の写真を図 13 に示す。

試験結果の一覧を表 1 に示す。“屋根ブロック間”の試験体を比較すると、閉鎖状態ではゴムシート厚に関らず建屋内部への浸水はなく、十分な止水性能を持つことが確認できた。屋根ブロック間のずれを考慮した試験体では、ゴムシート厚 5mm の場合でシートが大きく浮上り建屋内部まで浸水するが、表 1 中に示すように折版に止水板を設け

表 1 試験結果まとめ
Test result

Case	Thickness of rubber sheet	Plate	Wind velocity (point ◎)	Water-proof
• Butted portion of roof-blocks				
	5mm	—	0.5 m/s	○
	10mm	—	0.4 m/s	○
• Butted portion of roof-blocks				
	5mm	—	2.2 m/s	×
	10mm	—	0.5 m/s	○
	5mm	○	2.0 m/s	○
• Edge of the eaves				
	5mm	○	3.0 m/s	○
	10mm	○	2.3 m/s	○

ることで、雨水が遮断され建屋内部への浸水は見られなくなった。したがって、折版に止水板を設けることでゴムシート厚に関らず十分な止水性能を持つことが確認できた。製作した開閉式屋根では、走行時のゴムシートによる摩擦抵抗力が、10mm 厚では屋根の必要推力の約 1/2、5mm 厚では約 1/12 となるため、駆動装置の負荷をできるだけ小さくすることを考慮し、“屋根ブロック間”のゴムシートには 5mm 厚を採用する。

“軒先”の試験体を比較すると、ゴムシート厚に関らず建屋内部への浸水はなく十分な止水性能を有することが確認できた。ゴムシート厚 5mm によっても建屋内部への浸水はないが、自重によるゴムシートのたわみを抑え、ゴムシートと壁面との距離が過度に開くことを防止するため、“軒先”のゴムシートには 10mm 厚を採用する。

5.2 開閉式屋根の駆動方法

屋根の駆動方法としては、図 14 に示すように屋根ブロックの四隅に車輪を設けレール(H形鋼)上を走行させる。モーターは左右1台ずつ設置しインバーター制御により移動速度を調整する。当該駆動方法の走行性状を検証するため地上でのオフライン試験を実施し、走行速度、蛇行性状、モーター負荷、および走行、停止時の動作性状の確認を実施した。

オフライン試験の結果、走行レール芯のずれおよび継ぎ目部の隙間に対しても問題なく走行可能であったが、モーター能力を必要最小限としたためレール上に粉塵等

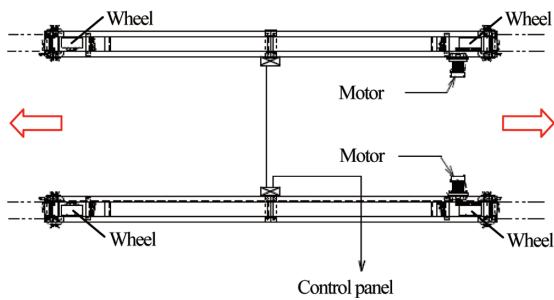
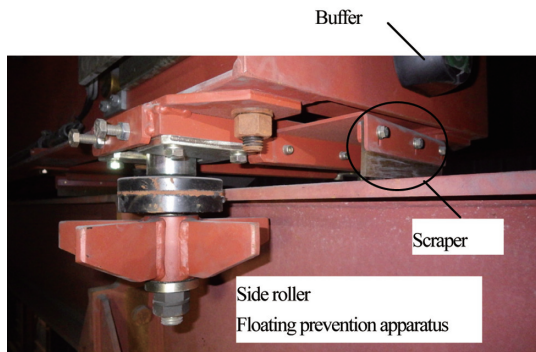
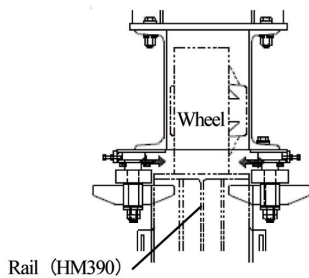


図 14 駆動装置の配置
Layout of drive unit



(a) Application of device



(b) Cross-section of rail

図 15 走行補助装置
Assisting device to drive

10mm 程度の段差が生じる場合に走行不可となった。そこで、車輪前後にレール上の堆積物を除去する装置としてスクレーパーを設置し平坦な走行路を確保する。加えて、走行補助装置(図 15)として、車輪の逸脱、蛇行を防止するサイドローラー、屋根の浮上りを防止するアンチリフター、衝突時の衝撃緩和のためのバッファ、隣接する屋根またはストッパーとの接触を感知し減速、停止を行うリミットスイッチを設け、よりスムーズな走行を図る。各装置の可動性状についても、別途試験を実施し、始動時および停止時に衝撃なく所定の位置まで走行可能であることを確認した。

5.3 コークス炉設備の利用

コークス炉設備である BS と PH を仮設上屋の構造要素として取り込んだ構造モデルの変形と応力の検討を行う。BS と PH を構造要素として取り込んだイメージを図 16 に示す。BS 上部に倒れ防止のために門型の架構(以下、上

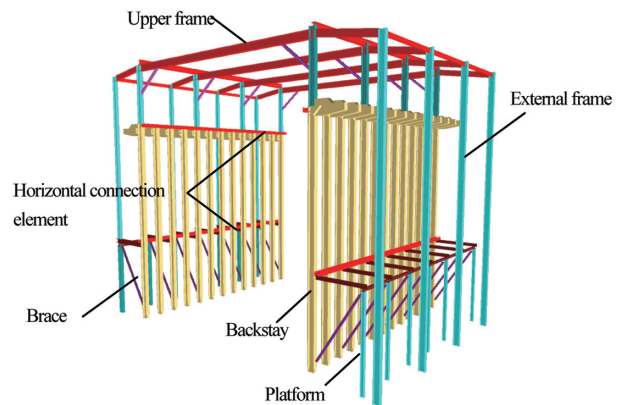


図 16 構造イメージ
Structural image

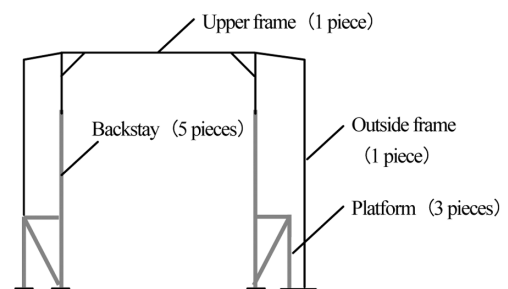


図 17 構造モデル
Structural model

部架構)を形成し、PH 上部または付近に外壁支持用の柱を設置し上端を上部架構と接続する(以下、外部架構)。なお、BS は桁行方向に複数設置されており、BS を集合体として仮設上屋に取り込むため水平繋ぎ材を設置する。さらに、PH にも水平力を負担させるため、ブレースの設置および接合部ディテールを変更し水平剛性を向上させる。このように BS 群と PH を取り込み、図 17 のような構造モデルを構築する。当該構造モデルを用いた構造解析を行い、BS、PH および上部架構、外部架構の応力と変形が要求性能を満たすことを確認し、構造安全性を実証することができた。

6. 実機による効果の確認

本取組を適用したコークス炉仮設上屋については、君津製鉄所第 4 コークス炉において適用(2015 年 9 月完工)しており、その適用効果を以下に記述する。

建方、解体時の各実施状況を図 18 に示す。開閉式屋根の止水性能については、事前に実施した耐風、耐水試験の結果を受け「屋根ブロック間」のゴムシートには 5mm 厚、「軒先」のゴムシートには 10mm 厚を採用することで、当該部位からの浸水は見られず十分な止水性能を発揮することを確認できた。

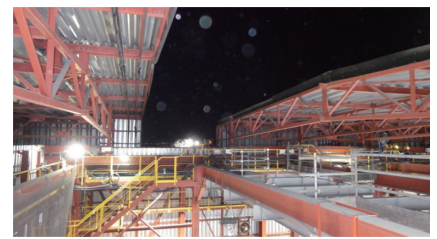
開閉式屋根の駆動方法については、走行速度、蛇行性状、モーター負荷について、事前走行試験とほぼ同等の性能を発揮でき、始動時および停止時に衝撃なく、所定の位置ま



(a) Utilization of coke oven equipment



(b) Construction of movable roof



(c) Opening of movable roof



(d) Completion of temporary building



(e) Demolition of temporary building



(f) Cutting of movable roof

図 18 仮設上屋の工事写真
Construction example

で走行可能であることを確認できた。加えて，コークス炉設備の利用によって，鋼材量を 150t（約 30％）削減，仮設上屋建設期間を 30 日（約 30％）短縮することができている。開閉式屋根を用いた機械工事の実施により当該工事期間が従来よりも若干遅延するが，建築工事，機械工事を総合すると合わせて 18 日の短縮が可能となり，全体工期としても十分な効果が得られることが分かる。なお，仮設上屋の撤去工事についても，屋根，壁を大ブロック化することで，足場設置を必要としない解体が可能となり，従来の工法に対して 10 日程度短縮している。

7. 結 言

本報告では，建屋に求められる機能を見直し，建屋空間を極限まで削減した次世代の仮設上屋の開発について示した。当該仮設上屋は，既に君津製鉄所にて適用され建設コストおよび工期の大幅改善を達成している。さらに，今後も建設が継続される各所コークス炉への適用を行うだけでなく，異なる視点で新しい製鉄設備の追究，実現に果敢に挑戦する所存である。



谷口雄大 Yudai TANIGUCHI
設備・保全技術センター
土木建築技術部 建築技術室
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



松石長之 Nagayuki MATSUIISHI
設備・保全技術センター
土木建築技術部 建築技術室 主幹



辻本裕之 Hiroyuki TSUJIMOTO
君津製鉄所 設備部 土建技術室 主査



小崎照卓 Shohtaku KOZAKI
設備・保全技術センター
土木建築技術部 建築技術室長