

煙突内壁レンガ解体技術の研究開発

— 解体試験に基づく装置の開発と実証施工 —

上田 広孝* 上野 隆雄*

要約： 焼却施設を改修、解体する工事においては、作業従事者の健康に悪影響を及ぼすダイオキシン類のばく露防止が重要であり、周辺環境にも配慮した対策が求められている。このような背景から、焼却施設解体工事におけるダイオキシン類の除染技術の一環として、煙突内部における耐火レンガの解体作業を機械化した「煙突内壁レンガ解体装置」を開発した。耐火レンガ解体には、鋼構造物のケレン装置用に開発したリンクチェーン回転打撃方式を応用し、解体装置の小型軽量化を図った。仕様の決定にあたっては各種のレンガ解体試験を行った。また製作した解体装置は、模擬煙突の耐火レンガ解体試験により効果を確認後、焼却炉煙突解体工事において実証施工を行った。本報では解体技術の研究開発と実証施工の結果について報告する。

キーワード： 焼却施設、煙突内壁レンガ、ダイオキシン類、除染、無人化

- 目次：**
- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1. はじめに | 5. 模擬煙突による解体試験 |
| 2. レンガ解体方法の考案 | 6. 実証施工 |
| 3. レンガ解体試験 | 7. リンクチェーンの耐摩耗性 |
| 4. 内壁レンガ解体装置の製作 | 8. おわりに |

1. はじめに

近年、ダイオキシン類対策特別措置法により大気排気基準に満たない焼却施設の改修や解体が必要となり、公共、民間を問わず大きな課題となっている。焼却施設を改修、解体する工事においては、作業従事者の健康に悪影響を及ぼすダイオキシン類のばく露防止が重要であり、周辺環境にも配慮した対策が求められている。このような背景から、焼却施設解体工事におけるダイオキシン類の除染技術の一環として、煙突内部における耐火レンガの解体作業を機械化する「煙突内壁レンガ解体装置」を開発することとした。

2. レンガ解体方法の考案

2.1 在来工法とその問題点

レンガ式煙突の解体廃棄物処理は、ダイオキシン類濃度のサンプリング調査結果によって異なるが、汚染度の高い耐火レンガは管理型処分または特別管理型処分となり、煙突本体のコンクリートについては安定型処分またはリサイクル処分とする。このため、はじめにダイオキシン類の汚染濃度の高いレンガだけを除去し、コンクリートと分別して解体を行う。在来の人力によるレンガ解体は、煙突内に円形ゴンドラを搬入し、作業員がゴンドラに搭乗してハンドブレーカを用いて煙突頂部より行う。解体作業は汚染度に応じた管理区域の設定と保護具（呼吸用保護具、保護衣等）の着用が義務づけられており、作業員には多大な苦渋を強いるとともに作業効率の低下につながる。在来の人力による解体イメージを図1、保護具（管理レベル2）を写真1に示す。

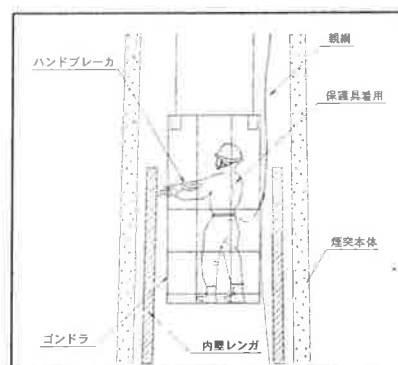


図1 在来工法によるレンガ解体イメージ



写真1 保護具（管理レベル2）

2.2 リンクチェーン回転打撃方式

現在、耐火レンガ解体を機械化した事例として、ハンマ打撃式¹⁾、削岩機式²⁾などがある。しかしこれらの方式では大きな反力を必要とすることから、装置質量が大きくなり老朽化した煙突躯体への適用が困難と考えられる。また設備が大きかりになりがちである。そこで筆者らは、既に開発した鋼構造物ケレン用の「リンクチェーン回転打撃方式」を応用することとした。これは鋼構造物壁面の旧塗膜に高速回転する多数のリンクチェーンを衝突させることによって、その衝撃力で塗膜を剥離させる技術³⁾で、小型軽量であるにも関わらず効率が非常に高い。この技術を応用してレンガ解体を図2の手順で行う方式を考案した。本方式と他方式の比較を表1に示す。

リンクチェーンは複数本を回転ドラムに取り付け、必要に応じて交換可能とした。また一度に大面積の塗膜を剥離させるのではなく、耐火レンガに短時間に切れ込みを入れる必要があることから、リンクチェーンを幅方向に列のみ取り付けることとした。

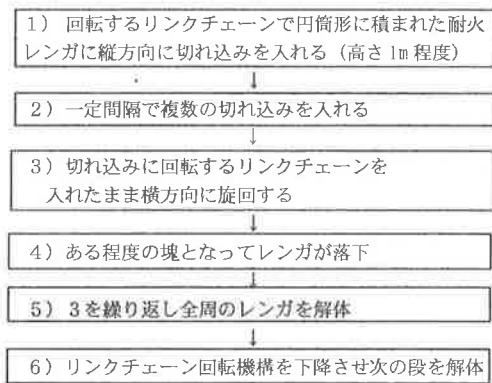


図2 回転リンクチェーンによる解体手順案

表1 耐火レンガ解体方式比較表

方法	回転リンクチェーン	回転ハンマ	切削ビット	エア式削岩機
概要	ドラムを回転させてチェーンで内壁を打撃し切削・解体	回転式のハンマでライニング材を打撃して破壊	回転式の切削ビットで内壁の表層を切削	エア式打撃ハンマにより内壁を打撃して表層を切削
適用可能ライニング等	RC, 耐火レンガ, アスベスト	耐火レンガ	RC, 耐火レンガ, アスベスト	RC, 耐火レンガ
適用可能煙突内径	小~大	大	小~大	中~大
ツールの寸法重量	小	大	中~大	大
必要設備規模	小	大	大	中
メリット	構造が単純で適用範囲が広い	耐火レンガを効率的に解体	切削力大きい	切削力大きい
デメリット	切削ビット、エア式削岩機より破壊力が小さい	ツールが大きく重い	ツールが大きく重い	ツールが大きく重い

3. レンガ解体試験

3.1 試験項目

リンクチェーン回転打撃機構の仕様を決めるため、以下の項目についてレンガ解体試験を行い、切削能力の比較を実施した。

3.1.1 チェーン線径による切削能力比較

市販のリンクチェーンの中から、引っ張り強度に優れたクロムモリブデン鋼製のスリング用チェーンを選定し、チェーンの線径の大小による切削能力の差を比較した。解体試験にはチェーンを取り付けたドラムをモータにより高速回転させ、横送り可能な横型試験装置を用いた。試験体には耐火レンガをモルタルで固めた模擬板を用いた。試験装置の図面を図3に、試験装置仕様を表2に、チェーンの仕様を表3に、外観を図4、写真2に、試験体仕様を表4に示す。

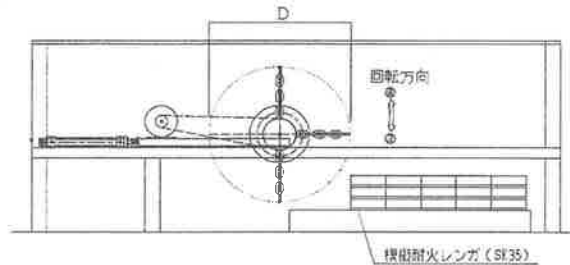


図3 レンガ切削試験装置 (横型)

表2 レンガ切削試験装置 (横型) 仕様

項目	仕様	項目	仕様		
モータ (3相 200V)	容量(kW)	3.7	回転ドラム	幅(mm)	200
	定格(A)	14		直径(mm)	400
	減速比	20:52		回転数(rpm)	576

表3 リンクチェーン仕様

種類	線径 d(mm)	ピッチ P(mm)	内面幅 a(mm)	外面幅 b(mm)	使用荷重 (t)(ISO)	質量 (kg/m)	硬度 (HV)
スリング用	13	39	16.3	46.0	6.2	3.67	425~
	16	48	20.0	56.0	10	5.56	495



図4 リンクチェーン寸法 写真2 リンクチェーン

表4 試験体仕様

項目	仕様
レンガ種類	耐火型 SK35(圧縮強度 33.1MPa)
レンガ外寸	22.6 × 11.0 × 6.0 cm/個
目地材	普通ポルランドセメント、洗い砂、モルタル接着増強剤
積み方	一枚積み連続式
試験体形状	5 × 10 × 3(段)

3.1.2 チェーン表面加工による切削能力比較

最外周のリンク表面に超硬チップを溶着させたものと、加工を施していないものとの切削能力の比較を横型試験装置により実験した。リンクチェーンは線径φ16mmのものを用いた。

超硬チップの仕様を表5に、表面に溶着させた状況を写真3に示す。超硬チップはリンクの半分に溶着したため、チップ側が常にレンガを打撃するよう、回転を規制する金物を溶接した。

表5 超硬チップ仕様

種別	硬度(HV)
	(マイクロカース:荷重 50g)
コムカーバ仕 鉄系肉盛材料	1,000~1,700



写真3 超硬チップ付リンクチェーン

3.1.3 回転方向による切削能力比較

煙突内に積み上げられたレンガに対し、上部から押さえつけるように打撃するチェーン回転方向（正とする）と、下部からすくい上げるように打撃する回転方向（逆とする）との切削能力比較をレンガ切削試験装置（縦型）により実験した。

試験装置の外形を図5に、仕様を表6に示す。

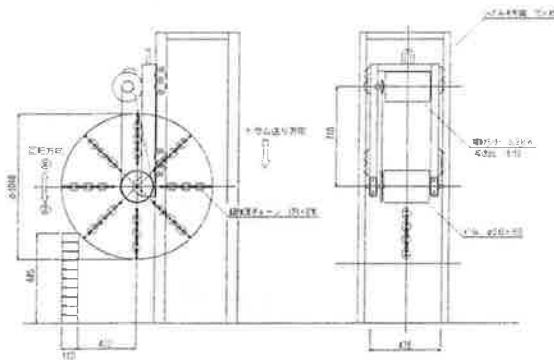


図5 レンガ切削試験装置（縦型）

表6 レンガ切削試験装置（縦型）仕様

項目	仕様	
モータ (3相 200V)	容量(W)	2.2
	定格(A)	8
	減速比	18:52
回転ドラム	幅(mm)	300
	直径(mm)	230
	回転数(rpm)	519

3.2 試験結果および考察

3.2.1 チェーン線径による切削能力比較

切削試験状況を写真4に、能力比較結果を表7に示す。線径φ16mmのチェーンの方がφ13mmのものより35%切削能力が高いことがわかる。これはチェーンの質量が大きく、レンガに与える衝撃力も大きいためと考えられる。

表7 チェーン線径による切削能力比較結果

線径(mm)	切削能力 (cm ³ /s)	切削能力比	モータ電流(A)	モータ電流当りの切削能力比
φ16	32.9	1.35	11.5	1.17
φ13	24.3	1.00	10.0	1.00



写真4 切削試験状況

3.2.2 チェーン表面加工による切削能力比較結果

最外周のリンク表面に超硬チップを溶着させたものと、加工を施していないものとの切削能力比較結果を表8に示す。超硬チップ有の方がわずかに能力が高いことがわかった。また切削時の電流に着目すると、超硬チップ有の方が低く、効率（モータ電流当りの能力）も高いといえる。

表8 チェーン表面加工による切削能力比較結果

超硬チップ	切削能力 (cm ³ /s)	切削能力比	モータ電流(A)	モータ電流当りの切削能力比
有	33.5	1.02	11.0	1.07
無	32.9	1.00	11.5	1.00

3.2.3 チェーン回転方向による切削能力比較結果

レンガに対し、チェーンを上部からたたきつける方向（正）と下部からすくい上げる方向（逆）による切削能力比較結果を表9に、試験状況を写真5、6に示す。チェーン線径はφ16mm、超硬チップ有を用いた。逆方向は正方向より能力が切削能力が5倍以上となった。切削とは別にレンガが目地を境に剥離・解体される能力を含めると16倍に達した。逆方向回転はレンガを目地の拘束から解放する効果があるためと考えられる。

表9 チェーン回転方向による切削能力比較結果

回転方向	切削能力 (cm ³ /s)	切削能力比	剥離レンガ含む破壊能力(cm ³ /s)	破壊能力比
正	12.2	1.00	12.2	1.00
逆	66.6	5.46	196.3	16.09

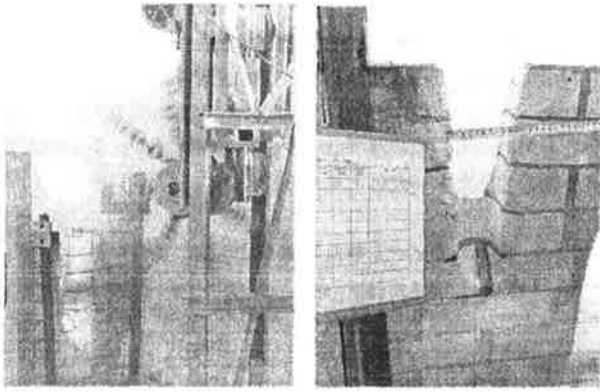


写真5 切削状況

写真6 切削後状況

3.3 切削能力比較試験結果まとめ

3種類の切削能力比較試験の結果、以下のことが明らかになった。

- ① チェーン線径は大きい方が切削能力が高い
- ② 超硬チップを溶着したもののの方が切削能力が若干高い
- ③ レンガに対しすくい上げる方向（逆回転）に打撃した方が切削能力が高く、接合部剥離により破壊が促進される

4. 内壁レンガ解体装置の製作

4.1 仕様の検討

比較的数量の多い煙突形状寸法および切削能力試験結果等から内壁レンガ解体装置の仕様を検討した。

4.1.1 レンガ解体ユニット

内壁レンガを効率よく解体するため、以下の4つの機構による構成を検討した。

① 回転ドラム機構

線径φ16mm リンクチェーンで最外周リンク表面は超硬チップを溶着、回転方向は（逆）とする。駆動モータは外形寸法も考慮しながら可能な限り大出力のものとする。

② アーム拡張機構

レンガ打撃の反力を相殺するよう、2つの回転ドラムによりそれぞれ反対側のレンガを同時に切削するものとする。また2本のアームで煙突内における回転ドラム位置決めを行い、内壁レンガへのチェーン貫入量の調整を行う。2本のアームはそれぞれ独立にストローク調整を可能とする。

③ アーム昇降機構

内壁レンガに縦方向に切削溝を設けるためにアーム昇降機構を設ける。芯出しユニット（後述）を固定点として、回転ドラム機構およびアーム拡張機構をジャッキの伸縮により上下方向に1m移動可能とする。

④ アーム旋回機構

内壁レンガを円周方向に全周にわたり解体するためにアームを旋回させる機構が必要である。解体時に死角ができないように、旋回角度に重複を持たせ、左右200°とする

4.1.2 芯出ユニット

内壁レンガを効率よく切削・解体するには、レンガに対し回転ドラムのリンクチェーンが正しい位置に安定して接触することが必要である。そこで解体装置本体を煙突軸芯に位置決めし、切削反力を負担する機構「芯出ユニット」を設ける。外形寸法を小さくするため、上下各3枚の羽根が本体装置部より均等に張り出し、先端部が煙突躯体内壁に接触するような機構とする。

4.1.3 操作ユニットおよび監視ユニット

解体装置は作業従事者へのダイオキシン類のばく露防止のため、有線遠隔操作とする。また作動状態及び煙突内状況を確認するため、暗所でも視認可能な赤外線式 CCD カメラを設置する。この映像を監視しながら遠隔操作を行うものとする。

4.2 解体装置仕様

前述の検討結果から、解体装置の仕様を表10のように決定し、製作を行った。外形を図6に、外観を写真7に示す。

表10 煙突内壁レンガ解体装置仕様

名称	仕様	規格
回転ドラム機構	切削方式 切削範囲 三相モータ ドラム回転数 切削チェーン	回転チェーン打撃式 φ1,100mm～φ3,100mm 3.7kW 2台 547rpm スリング用チェーン 線径φ16mm
アーム拡張機構	油圧ジャッキ	ストローク250mm 2本
アーム昇降機構	油圧ジャッキ	ストローク1,200mm
アーム旋回機構	三相モータ 旋回角度 旋回回転数	減速機付 60W 左右200° 0.64rpm
芯出ユニット	対応内径 ジャッキ	φ1,100mm～φ3,100mm ストローク 200mm 2本
監視ユニット	CCDカメラ	5台
操作ユニット		有線遠隔操作方式
本体付属装置	油圧ユニット	1.5kW
質量		約1,000kg
寸法		φ1,100mm×4,050mm (高さ)

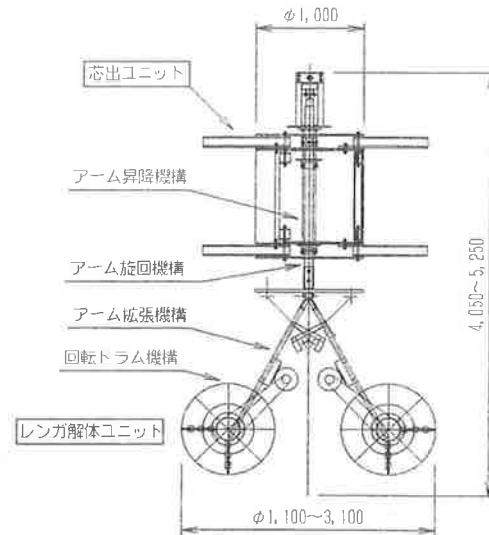


図6 煙突内壁レンガ解体装置外形

5. 模擬煙突による解体試験

製作した解体装置の動作確認を行うため、模擬煙突を作成し解体試験を実施した。

5.1 模擬煙突

円筒形の鋼製型枠を利用し、内側に耐火レンガを積み上げた。実際と同様、目地にはモルタルを用いた。図7に模擬煙突の外形を、表11に仕様を示す。

5.2 模擬煙突内壁レンガ解体試験

図8の手順で模擬煙突内壁レンガを解体する。

5.3 模擬煙突内壁レンガ解体試験結果

モニタ映像を見ながら遠隔操縦し、手順に従い内壁レンガを解体した。実験状況を写真8に、解体後のレンガの状況を写真9、10に示す。計画通り問題なく解体できることを確認した。

表 11 模擬煙突仕様

項目	内容
レンガ種類	耐火レンガ SK35
レンガ外寸	22.6×11.0×6.0 cm
目地材	普通ポルトランドセメント 洗い砂 モルタル接着増強剤
積み方	一枚積み・半枚積み
レンガ段数	14段



写真7 煙突内壁レンガ解体装置

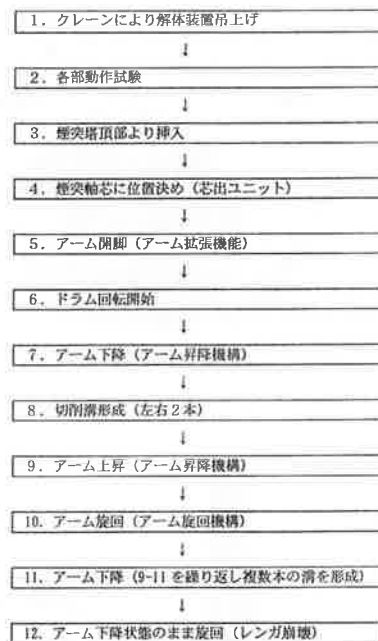


図8 模擬煙突内壁レンガ解体手順

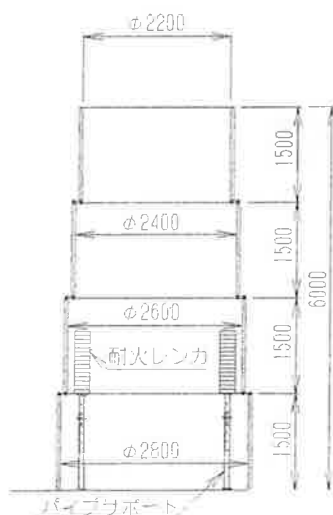


図7 模擬煙突外形



写真8 模擬煙突内壁レンガ解体状況



写真9 解体された内壁レンガ



写真10 解体後状況（底部）



写真11 根室市じん荼焼却場

表12 工事概要

項目	内容
発注者	根室市
工事名	根室市じん荼焼却場排ガス高度処理施設等整備工事 既設煙突解体工事
工事場所	北海道根室市幌茂尻
施工者	JFE エンジニアリング株式会社
解体範囲	GL-0.3m ~ 50.0m
煙突規模	煉瓦式煙突 GL+50.0m 正八角形 (底部) 3.80×3.80m (頂部) 2.01×2.01m

6. 実証施工

根室市じん荼焼却場（写真 11）の解体工事に本機を適用し、実証施工を行った。

6.1 工事概要

工事の概要を表 12 に示す。

6.2 実証施工内容

根室市じん荼焼却場既設煙突解体工事においては、まずダイオキシン類のばく露防止のため、濃度をサンプリング検査し、躯体に足場と養生シートを設置した後、内筒の内壁を高圧水で洗浄してダイオキシン類を含んだ灰を除去した。次に、GL+50.0m（塔頂部）～GL+4.8m までの 45.2m にわたる内壁レンガは、在来工法であるハンドブレイカを用いた人力による解体とし、残りの約 4.8m を解体装置により解体した。解体装置により実証施工を行った内壁レンガの構造は一枚積み（レンガ長辺が内筒の厚みとなる方向に積む形状）である。実証施工範囲での内壁レンガ内径は上部で約φ2,400mm、底部で約φ2,600mm であった。

解体装置の揚重は通常、クレーンまたはウインチにて煙突頂部から行っている。しかし、今回の実証施工においては施工範囲が少ないため、煙突内部に電動チェーンブロックを設置して高さ 6m の範囲で解体装置の揚重を行うこととした。解体装置の実証施工平面図を図 9、断面図を図 10 に示す。

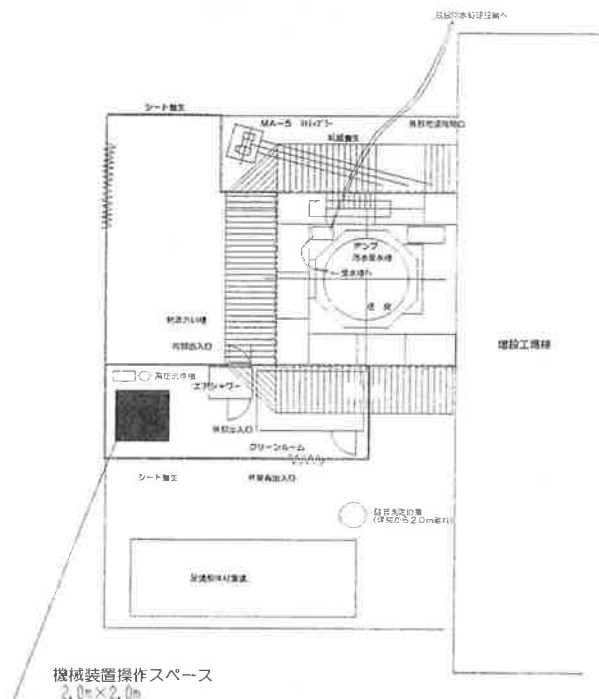


図9 現場平面図

6.3 実証施工作業工程

作業工程を図 11 に示す。内壁レンガ解体の手順は模擬煙突レンガ解体実験手順（図 8）と同様に実施した。解体した耐火レンガは、随時バックホウにて資機材開口部より搬出した。解体装置がダイオキシン類による汚染が予想されることから、高圧洗浄装置により洗浄・除染した。また煙突内で使用した電動チェーンブロックおよびワイヤーも、高圧洗浄を行い、集塵機のダストボックス内に溜まった粉じんは、解体した耐火レンガと同様に処分した。集塵機は専用カバーを被せ、ダイオキシン類ばく露対策を行っている整備工場へ運搬した。

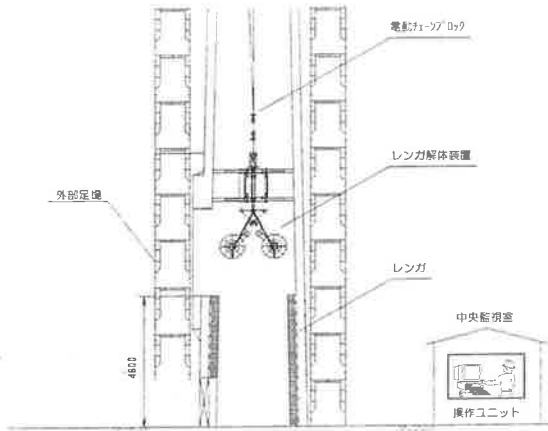


図 10 解体装置配置図（断面）

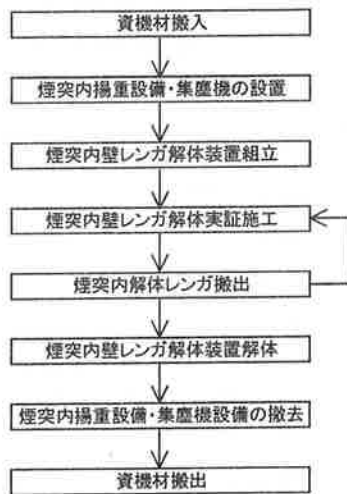


図 11 実証施工作業工程

6.4 実証施工結果

解体装置のレンガ解体ユニット及び芯出ユニットについては、計画通りの施工性があること、監視ユニット及び操作ユニットについては、モニタ監視による位置決め操作が容易にできることを確認した。この解体機を用いることにより解体作業中は煙突内に立ち入ることなく、安全に耐火レンガを解体できることを実証した。また、人力では解体作業員 2 名が必要なのに対し、解体装置ではオペレーター 1 名で実施できることも明らかになった。解体作業能力を表 13 に示す。また解体作業中の騒音測定（煙突より 20m の地点：図 9）を行った結果、在来工法より騒音が小さいことがわかった。騒音測定結果を表 14 に示す。

6.5 課題

課題としては以下のことがあげられた。

- ① リンクチェーンの磨耗が激しく、およそ 4.5 時間毎に交換する必要があった。磨耗の状況を写真 12 に示す。リンクチェーンを交換するために保護服を着用して煙突内に立ち入る必要があったため、改善を要する。
- ② 内壁レンガ解体作業そのものは遠隔操縦により無人化することができたが、その後の解体ガラ搬出に作業員が介在しており、無人化が望まれる。

7. リンクチェーンの耐摩耗性

7.1 リンクチェーン材質による磨耗量比較試験

実証施工で課題となったリンクチェーンの磨耗について対策を図るため、実証施工で使用したリンクチェーンよりさらに耐摩耗性を考慮したタイプを選定し、比較試験を行った。試験には横型の装置を用い、1つの回転ドラムに実証施工時と同じチェーンを 4 本、耐摩耗性が高いとされるチェーン 4 本を取り付け、耐火レンガ試験体を切削して磨耗量を比較した。それぞれのチェーン仕様を表 15 に示す。

7.2 磨耗量比較試験結果

磨耗量計測点を図 12 に、磨耗量比較結果を表 16 に示す。コンベア用チェーンはスリング用チェーンと比較し、第一リンク外周側（点 A）および第一リンク内周側（点 B）の磨耗量はそれぞれ 50% に減少し、第二リンクの第一リンクとの接触点（点 C）における磨耗は 69% に減少しており、耐摩耗性が高い。長寿命化を図るため採用を検討することとした。



写真 12 磨耗によるリンクの破断（右）

8. おわりに

煙突内壁レンガを遠隔操縦により解体する、小型軽量かつ煙突躯体への影響が少ない「リンクチェーン回転打撃方式」による煙突内壁レンガ解体技術を開発した。レンガ解体試験により、装置の仕様を検討し、模擬煙突解体試験で機能を確認の上、実証試験に成功した。

今後は解体レンガ搬出技術等の開発により、煙突内作業の無人化を図り、焼却施設解体工事の一貫したシステムを早期に構築しトータルコストの低減を図りたい。

表 13 実証施工時解体能力

	解体レンガ量 (m ³)	解体時間 (h)	解体能力 (m ³ /h)	解体能力 (c m ³ /s)
1 日目	4.83	2.96	1.63	453.3
2 日目	4.58	3.02	1.52	421.3
累 計	9.41	5.98	1.57	437.1

表 14 騒音測定結果

	暗騒音	在来工法	解体装置
騒音レベル (dB)	65	80	73

表 15 チェーン仕様

種 類	線径 d(mm)	ピッチ P(mm)	内面幅 a(mm)	外面幅 b(mm)	破断荷重 (kN)	質量 (kg/m)
スリング用チェーン	16	48	20.0	56.0	400	5.56
コンベヤ用チェーン	16±0.5	55±0.5	18.5	52.0	400	5.21

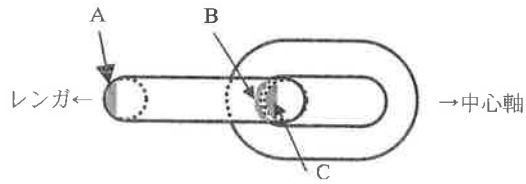


図 12 磨耗計測点

表 16 磨耗量比較試験結果

チェーン 種 類	部 位	磨耗量 (mm)	比 率
スリング用	1 リング 外周側(A)	0.400	1
	1 リング 内周側(B)	0.325	1
	1-2 リング接触部(C)	0.050	1
コンベヤ用	1 リング 外周側(A)	0.200	0.50
	1 リング 内周側(B)	0.225	0.69
	1-2 リング接触部(C)	0.025	0.50

謝 辞

最後に、技術開発にあたりご指導、ご協力を頂いた JFE プラント&サービス株式会社、東洋テクノ株式会社、また実証施工においてご指導・ご協力を頂いた根室市、JFE エンジニアリング株式会社の関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 田中靖之・千田伝・他 2 名：除染ロボットの開発と煙突解体への適用，建設ロボットシンポジウム論文集，第 9 回，pp79-86，2002 年 7 月
- 2) 沼口栄助・田中松男・西野荒士：煙突解体システムの開発，建設ロボットシンポジウム論文集，第 9 回，pp87-94，2002 年 7 月
- 3) 後久卓哉・西尾仁・他 3 名：鋼構造物ケレン・塗装装置の開発，東急建設技術研究所報，No.27，pp51-54，2001 年 9 月

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A CHIMNEY INNER PIPE BRICK DEMOLITION TECHNOLOGY

H.Ueda and T.Ueno

Prevention of an exposure of dioxin kind which has a bad influence on the worker's health in the improvement construction, dismantling construction of the burning facilities is important. The countermeasure of prevention of an exposure is required in the circumference environment as well. "A CHIMNEY INNER PIPE BRICK DEMOLITION TECHNOLOGY" that the dismantling work of the refractory brick in the inside of the chimney was mechanized was developed as a part of the removal technology of dioxin kind in the burning facilities dismantling construction from such a background. The link chain rotation blow device developed for the coating removal of the steel structure was applied to refractory brick dismantling, and a miniature lightened a dismantling device. Several times enforced a brick dismantling examination, and the specifications of the dismantling device were decided from that result. After effect was confirmed by the refractory brick dismantling examination of the mimic chimney, a made dismantling device did actual proof execution in the incinerator chimney dismantling construction. It is reported about the result of research and development of the dismantling technology and the actual proof execution by this report.