

シップリサイクル高度化技術研究  
(2010年12月～2011年6月)  
成果概要報告書



2011年8月

財団法人 日本船舶技術研究協会

## 目 次

1. 目的	1
2. 研究体制及び活動経緯	2
3. 研究報告	
3.1 改装フローティングドック方式の船舶解体施設の研究	4
3.2 改装フローティングドック方式の船舶解体施設を用いた船舶解体手法に関する調査 研究	8
3.3 シップリサイクル事業の解体コスト削減に資する、我が国の解体技術の経済面・技 術面の実態把握調査	18
4. まとめ	23

## 1. 目的

船舶の解体（シップリサイクル）は、低コストや再生鉄の需要等からこれまで開発途上国で劣悪な環境の中、実施されてきており、それら解体施設での環境汚染や労働災害が世界的な問題となった。これを受け、2009年5月、国際海事機関（IMO）において、解体施設での労働安全と環境保全を目的として「2009年の船舶の安全かつ環境上適正な再生利用のための香港国際条約（仮称）」（以下、シップリサイクル条約という）が採択された。当条約では、シップリサイクルに伴う労働安全の確保と環境影響改善を目指すとともに、条約の要求に適合した施設でのみシップリサイクルが実施可能となり、途上国での健全なリサイクルは限定的となる可能性が高く、老朽船や余剰船の早期退役も望まれているところ、世界的なシップリサイクル能力が不足することが懸念される。

そのため、我が国国内において、大型船舶を条約に従ってリサイクルするためのシステムの確立に資する調査として、2010年、室蘭において、船舶解体実証実験（以下、室蘭パイロットモデル事業）が国土交通省により実施された。室蘭パイロットモデル事業により、国内における大型船舶の解体の可能性が示されたところであるが、安定した事業化を目指す上では、解体にかかるコストの低減が重要となってくる。

そこで、財団法人日本船舶技術研究協会では、環境に優しく、安全・確実で、経済的なシップリサイクルシステムの構築に向け、研究開発促進基金を利用したシップリサイクル高度化技術研究事業を2010年12月に立ち上げ、シップリサイクル高度化技術研究検討会を設置し、技術集約型のシップリサイクル主要設備を装備した事業場のありかたの検討や、安全かつ経済的で環境に配慮した機器技術の洗い出し調査等を目標として、調査・研究を行うこととなった。

## 2. 研究体制及び活動経緯

### 2.1 研究体制

シップリサイクル高度化技術研究検討会委員を以下に示す。

主査 委員	加藤光一（国土交通省海事局船舶産業課）
	加藤正志（トライテック株式会社）
	小板幹博（ベステラ株式会社）
	坂本安三（有識者）
	清水一道（国立大学法人室蘭工業大学）
	高崎利之（岬環境プラン株式会社）
	高橋意弥（三井物産株式会社）
	高橋秀幸（三井物産メタルズ株式会社）
	寺岡 功（株式会社寺岡）
	豊田宗晴（株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド）
	仲條靖男（株式会社日本海洋科学）
	高野裕文（一般財団法人日本海事協会）
	平田純一（一般財団法人日本海事協会）
	関係官庁
	前田崇徳（国土交通省海事局船舶産業課）
	古賀定治 [大久保眞彦]（国土交通省海事局船舶産業課）
事務局	田村顕洋 [吉田正彦]（財団法人日本船舶技術研究協会）
	杉山哲雄（財団法人日本船舶技術研究協会）
	井下 聡 [仁平一幸]（財団法人日本船舶技術研究協会）
	諸富恭子（財団法人日本船舶技術研究協会）

（注） [ ] 内は前任者を示す。

## 2.2 活動経緯

以下の日時、議題でシップリサイクル高度化技術研究検討会会議を行った。

- ・ 第1回

日時：2011年1月7日（金）10:00～13:00

場所：（財）日本船舶技術研究協会 会議室

議題：検討会設置の背景と目的について、研究開発計画について

- ・ 第2回

日時：2011年2月24日（木）10:00～13:00

場所：（財）日本船舶技術研究協会 会議室

議題：切断技術の高度化研究実施テーマの検討について

- ・ 第3回

日時：2011年4月26日（火）10:00～13:00

場所：（財）日本船舶技術研究協会 会議室

議題：調査研究の中間報告について、切断技術の高度化研究の検討について

- ・ 勉強会

日時：2011年5月23日（火）10:00～18:10

場所：（一財）日本海事協会 7階C・D会議室

議題：室蘭の解体ボトルネックの分析について、解体（切断等）技術の性能とコスト分析について、解体方法（フローティングドックとアフロート）の性能とコスト分析について

- ・ 第4回

日時：2011年6月30日（木）10:00～13:00

場所：（財）日本船舶技術研究協会 会議室

議題：調査研究の最終報告について、切断技術の高度化研究のまとめについて

### 3. 研究報告

#### 3.1 改装フローティングドック方式の船舶解体施設の研究

本研究では、初期設備投資の軽減と運営費の圧縮、更には海面汚染リスクの解消を実現すべく、既存の船舶を利用したフローティングドック方式の船舶解体施設の開発研究を行った。

受け入れ可能な解体対象船の範囲を極力広げ、またフローティングドックへの改装に適した船型であることを考慮して20万載貨重量トン級大型撒積船を対象とし、併せて大幅な機械化による解体作業の合理化を目指した先進国型のシップリサイクル施設の開発設計を行った。

##### (1) 改装フローティングドック方式の船舶解体施設の設計

既存の20万載貨重量トン級大型撒積船の改装によるフローティングドック方式の解体施設の主要スペック、主要図面、計算書（強度、トリム計算等）を作成した。

改装対象の20万載貨重量トン級大型撒積船の主要目等は表3.1.1のとおりである。

表3.1.1 改装対象の20万載貨重量トン級大型撒積船の主要目等

船種	バルクキャリアー
長さ（全長）	約312.0m
長さ（垂線間長）	299.0m
幅（型）	50.0m
深さ	26.65m
喫水（型）	19.85m
積載重量	220,000ton
船倉容積	232,000m <sup>3</sup>
タンク容積	
燃料油槽	
A－重油	390m <sup>3</sup>
C－重油	5,960m <sup>3</sup>
清水槽	300m <sup>3</sup>
脚荷水槽	76,290m <sup>3</sup>
主機関	SULZER 7RLB56 x 2 MCR 18,900PS x 67.5RPM NOR 16,800PS x 64.9RPM
主発電機	900KW x 3台
ボイラー	10t/h x 1台
満載航海速度	14.7ノット
乗組員	30人
船級	日本海事協会

改装後のフローティングドック船舶解体施設の仕様概要は表3.1.2のとおりである。

表3.1.2 改装後のフローティングドック船舶解体施設の仕様概要

一般	
船種	浮きドック形式、船舶解撤施設台船
船型	鋼製U字形状一体型
船級	無し
適用法規	船舶安全法及び関連法規に準拠 労働基準法関連法規 電気事業法 海洋汚染防止法等関係法 NKフローティングドック規則に準拠
主要寸法	
全長（型）	約294.5m
ポンツーン長（型）	285.6m
ポンツーン幅（型）	50.0m
側壁外幅（型）	50.0m
側壁内幅（型）	38.6m
深さ（型）	26.65m
側壁高さ（型）（作業甲板より）	23.45m
作業甲板深さ（型）	3.197m
作業時喫水（型）	約4.0m
沈下時喫水（ドック岸壁係留時最大）（型）	8.0m
沈下時乾舷（ドック岸壁係留時最大）（型）	18.65m
盤木高さ	0.5m
沈下時盤木上喫水（ドック岸壁係留時最大）	4.3m
浮揚力（最大）	約10,000t
最大入渠・解撤船要目	
公称	Panamax size (Max.)
長さ（垂線間）	215.0m
幅（型）	32.26m
深さ（型）	22.0m
入渠時排水量 最大	12,000t
入渠時喫水 最大	4.0m
タンク容量	
バラストタンク	約45,100m <sup>3</sup>

(2) 同施設内の主要装置・機器の設計

解体作業合理化のための機械化設備（デッキクレーン、天井クレーン、ドック内走行プラットフォーム、船殻切断ロボット装置等）の概略スペック、概要図面、電力計算書を作成した。

解撤設備要目は表3.1.3及び表3.1.4のとおりである。

表3.1.3 新設解撤機器要目

機器	数量	形式	備考
水素ガス発生装置	1	混合型又は分離型	
可動ステージ	1	電動モータ駆動 走行速度：約2.0m/分 幅：約38.4m×奥行き：約2.0m	
遠隔操作アーム	8	駆動方式：製造所標準 稼働面：約24m×約19m	
天井クレーン	1	電動モータ駆動 横行速度：約2.0m/分 走行速度：約1.0m/分 容量196kN×吊り上げ高さ25m	
デッキクレーン	6	電動油圧駆動 245kN×30m	
プレス装置	1	電動油圧駆動 長さ：約1.3m×幅：約0.5m 最大プレス荷重2000kN	

表3.1.4 解撤用施設

設備	数量	形式	備考
可動式屋根	2	電動モータ駆動 幅：約35m×長さ：約20m ×高さ：約10m 走行速度：約5.0m/分	
回収品保存庫	1	幅：約15m×奥行き：約10m ×高さ：約3m	
	1	幅：約20m×奥行き：約15m ×高さ：約3m	
水密ゲート	1	水密（上方は開放）、ヒンジ式 電動油圧シリンダー駆動 幅：約40.0m×高さ：約4.0m	

### 3.2 改装フローティングドック方式の船舶解体施設を用いた船舶解体手法に関する調査研究

本研究では、初期設備投資の軽減と運営費の圧縮、更には海面汚染リスクの解消を実現すべく、大幅な機械化による解体作業の合理化を目指した先進国型のシップリサイクル施設（既存の20万載貨重量トン級大型撒積船を改装したフローティングドック方式の船舶解体施設）を用い、次の一連の作業において効率の極大化がなされる解体手法の調査研究を行った。

#### (1) 事前準備

##### <本船側>

- ・ 有害物質インベントリを事前に提出。（ドック側での解体計画作成のため）
- ・ 陸揚げする予備品・貯蔵品の整理。
- ・ 燃料油（残油）は二重底タンク内には残さずDEEPタンクに集めておく。（燃料タンクの蒸気蒸し作業の効率向上のため）

##### <ドック側>

- ・ 解体計画を策定。

#### (2) ドック接舷中作業

##### ① 上甲板艤装品の撤去

- ・ ドック alongsideに本船を係留し上甲板艤装品をガス切断。
- ・ ドックのクレーンにて撤去。

##### ② 燃料タンクの清掃

- ・ 接舷中に二重底燃料タンクの蒸気蒸しを実施。
- ・ ドック施設のボイラーから二重底燃料タンク蒸気蒸しのための蒸気を供給。

#### (3) 入渠

- ・ ドック側からの引込ワイヤーにて入渠。
- ・ 本船を所定の位置に据え、ドックゲートを閉じ、ドック内排水開始。
- ・ 腹盤木のみ船型にあわせて移動又は片づけ。
- ・ 船底立ち上がり部の清掃。

#### (4) 船舶全体の解体手順

- ① 船首部より船殻解体開始、順次船尾に向けて解体（ガス切断を主に）。
- ② ①と同時に居住区の解体着手（構造鋼材は機械式切断を主とする）。
- ③ ②と同時に機関室内の機器、パイプ類の取り外し、および主機、補機の一部分解作業を開始し、②の居住区撤去後、機関室内の機器類を分解、搬出する。

## (5) 船殻解体

### ① 解体装置・機器

- ・ 船殻断面で見て上部、下部、底部（二重底）に3分割し、各部を担当する切断装置を設ける。
  - (a) 上部：ドック内中段に掛け渡したブリッジ上を走行移動する6機のカス切断装置（高所作業車＋ポータブル自動切断機）
  - (b) 下部：渠底又は船艙内を移動する6機のカス切断装置（高所作業車＋ポータブル自動切断機）
  - (c) 底部：渠底又は船艙内を移動する2機の重機・機械式切断装置（ラバンティ・シャー等を利用）
- ・ 本切断計画はブロックで切り出すのではなく、全てパネル（骨材付き）として切り出す。
- ・ 高所作業車利用時は、バスケットに作業員が乗りポータブル自動切断機を操作。切断機はバスケットに取り付けたバランスアームで荷重を受け、作業負担を軽減。

### ② ガス切断機

- ・ ポータブル自動切断機を極力活用。
- ・ 3次元曲線での切断が可能な装置もある。
- ・ 走行速度は70cm/分程度まで出せる。

### ③ 鋼板切断要領

- ・ 切断作業を効率よく進めるためには、鋼板と骨材を連続的に切断することが求められ、また、高所作業車でのアクセスでは板側から切断することも求められる。

### ④ 酸素ランス溶断機

鉄と酸素の酸化反応熱を利用した溶断機

#### (a) シャープランス

- ・ 厚板に対応でき、SUS、非鉄等も切れる（3,500℃）。
- ・ 切断速度が速い。
- ・ 供給ガスは酸素のみ（酸素の消費量が多い）。
- ・ ランス棒（消耗品）使用。
- ・ 手持ち操作のみ。

#### (b) スターカッテンド

- ・ 更に電気アーク熱も利用した酸素ランス溶断機（6,500℃）

ガス切断トーチでは切断し難い箇所の切断に威力を発揮する。しかしながら、酸素の使用量が多く、ランス棒（1mもので約千円）が消耗品であるためコスト高

となるのが難点。

⑤ 水素ガス

- ・ ガス切断のガスに水素ガスを使用。
- ・ 大手造船所での使用実績あり、切断速度向上（50～70cm/分）、余熱時間短縮（10秒/回）、火口～板の間隙の許容度、厚板切断可能、熱伝導小、安全性、経済性の点で有利。

⑥ 切断長・切断時間試算

(a) Hold部分

ガス切断機12機（トーチ12本）、水素ガス溶断速度50cm/分

(b) 船首、船尾部（但し、骨材寸法は超概算）

大半を手動切断でトーチ8本（8チーム）、水素ガス溶断速度30cm/分

	P'max bulker 9,744LDT L215.0xB32.2xD18.2m	Container船 15,215LDT L244.7xB32.2xD21.1m
Hold部分	3,632m/hold×7hold=25,424m	5,683m/hold×6hold分=34,098m (No.1及びNo.7は半分として)
船首部	1,506m	同左として
船尾部	1,677m	同左として
1船合計 (除く、二重底)	28,307m	37,281m
切断時間	最長稼働切断機の 火炎切断時間：12hr/hold 同機の段取り：12hr/hold 合計：24hr=3日	最長稼働切断機の 火炎切断時間：19hr/hold 同機の段取り：19hr/hold 合計：38hr=4.75日
切断所要日数	27日 居住区を除く船殻重量9,000t として9,000÷27=333t/日	37日 居住区を除く船殻重量14,000t として14,000÷37=378t/日
二重底部分	二重底部分はラバンティ使用にて23日で解体 (二重底重量2,000t÷23=87t/日) 但し、ラバンティ解体作業の効率向上のため、ポータブル自動切断機を使用し、内底板（骨を除くplateのみ）をGirder、Floorに沿い碁盤目状にガス切断をしておく。	

	<p>【注】VLBC改装フローティングドックの渠中内Clear Hightは22.5m程度にて本船（コンテナ8段積み）の入渠は無理があるが（実際は7段積み船型までとなろう）、図面入手出来たのが本船のみであり、便宜上本船で試算。</p>
--	---

考察：

(イ) 切断所要日数については、最も稼働時間の長い切断機に注目し、その稼働時間（＝火炎切断時間）と同じ時間を“**段取り**”に要すとして作業時間を計算。

但し、段取り時間についてはデモンストレーションなどを実施し更なる検証を要する。

(ロ) 切断長の試算は事例船の図面より部材寸法を読み取り集計したが、細かな構造部材までは考慮しておらず、より正確を期すため、設計CAD図（無い船は図面よりCADデータに起こす）よりコンピュータ上での切断線指示並びに切断長集計が望まれる。

## ⑦ 二重底の解体

二重底は閉鎖箱型構造にてガス切断を行うと、切断長が長く、かつポータブル自動切断機も使い難いため、大型カッター（ラバンティ・シャー等）による機械式切断が効果的。

- ・ 盤木上に残った二重底構造の切断につき、重機でのラバンティ操作も比較的容易である。また、低位置作業であり作業の危険度も低い。
- ・ 但し、ラバンティ切断の効率を上げるため、内底板（骨材は切断せず）のみガス切断（ポータブル自動切断機多用）。
- ・ 二重底構造でないタンカーにおいては全てガス切断にて解体。

## ⑧ 切り出し鋼材運搬及び裁断要領

### (a) 切り出し・運搬

ガス切断にて切り出した鋼材は天井クレーンにてドック内側壁まで運び、電磁石付き運搬台車にて後方の裁断エリアまで運搬。後方裁断エリアでは重機の切断機（大型カッター）のアームを使用し運搬台車より受取り渠底に置く。

鋼材切り出しに際しては、予め上辺端部に2個の穴をあけ（ガス切断）、フックを使用して天井クレーンにて吊上げる。フックの取り付けは高所作業車上のガス切断作業者が行う。外す時はクレーンワイヤーを緩めフックの自重にてリリースする（玉掛け要員は不要）。

但し、上甲板部材など水平な状態で切り出される鋼材については、天井クレーンを2基使用して水平から垂直懸垂状態にする必要あり。

（注）本運搬装置は（株）アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドの試設計には含まれていない。

### (b) 裁断

小バラシ裁断は2機の重機による機械式切断機（大型カッター）を使用し裁断す

る。

裁断程度をトラックサイズまでとするか、炉前サイズまでとするかは機械式切断の処理能力次第となるが、炉前サイズまでを目標とする。鉄スクラップの売却価格差と重機切断のコストとの見合いとなり、更なる検討を要する（（10）参照）。

裁断鋼材は大型BOXに入れ、開口部よりDKクレーンにて上甲板Storage Spaceに移す。

なお、二重底の切断用重機（2機）、及び裁断用重機（2機）は入渠浸水中はDKクレーンを使用して吊上げ、上甲板上に仮置き、又はドック内後端部に架台を設置し、仮置きしておく。

#### ⑨ 船殻解体工数試算

船殻解体の所要作業員数は

切断指揮管理者：1名

ガス切断機操作：13名（1機に1名、内1名は二重底先行切断担当）

天井クレーン運転：4名

重機（ラバンティ）運転（二重底解体）：2名

重機（Xカッター）運転（裁断）：2名

同切断鋼材運搬台車操作：2名

合計：24名

P'max bulker 8hr/日×29日（1隻の作業日数）×24人＝**5,568hrs**

（鋼材重量 9,000 t として**1.62t/hr**）

Container船 8hr/日×37日（1隻の作業日数）×24人＝**7,104hrs**

（鋼材重量14,000 t として**1.97 t/hr**）

#### ⑩ ガス切断と機械式溶断の工法比較

Floating Dock内作業を前提にした工法比較 <ガス切断vsラバンティ解体>

	ガス切断	ラバンティ
作業環境	<ul style="list-style-type: none"><li>装置運転に大きなスペースを要しない。</li><li>装置重量は比較的軽い。</li><li>狭い空間でも操作可能。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>本体重機の運転にはかなりのスペースを要する。</li><li>装置重量が重く、接地面の強度必要。</li><li>Dock内等の囲まれた空間での作業には不向きか？</li></ul>
作業効率	<ul style="list-style-type: none"><li>装置1機当たりの切断能力は小さいが、多数のトーチを同時に運転可能であり、全体の</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>同時投入台数に限りがある。（3～4台max?）</li><li>天井クレーン併用は困難。</li></ul>

	<p>効率は高い。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・天井クレーンの併用可能。</li> <li>・船殻形状により手作業の発生が生じる。</li> <li>・切断線の事前計画により工数の把握がし易い。</li> <li>・作業員の技量の差は比較的小さい。</li> <li>・人間から段階的にロボットに置き換えて行くことも可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原則全ての箇所切断可能。</li> <li>・現場判断が多く、事前の工数把握がし難い。</li> <li>・運転作業員の技量による差が大きい。</li> </ul>
スクラップ出荷	<p>平板状に切り出せるので、ギロチン・シャーへの投入が容易で、炉前サイズへ加工しての出荷も容易。</p>	<p>トラックサイズでの出荷が前提となろう。</p>

## (6) 甲板艀装品解体

ドック接舷中に撤去された上甲板艀装品、及び入渠後撤去された艀装品はドック上甲板作業スペースに集める。鉄艀品はガス切断又は機械式カッターにて裁断。

機器・装置類は中古品選別、あるいは分解を経て部材選別、危険物隔離などの作業を行う。

## (7) 居住区解体

### ① 内装解体及び機器撤去

内装解体は人力に頼らざるを得ないが、治具を多用し解体する。

大型機器類（ブリッジコンソール、空調装置、冷凍装置、コントロールコンソールなどで、主にBridge DKとUpper DKにある）は構造鋼板に開口を設けドッククレーンを利用し取り外し撤去。撤去した内装材、機器類はドック上甲板作業スペースに置き、仕分け・分解などを行う。

### ② 構造鋼板解体

(a) 内装撤去後、構造鋼板の解体に着手する。

ポータブル自動切断機を多用しガス切断にて解体。また、Engine casing及びfunnelも居住区の解体進行に合わせて解体。

(b) 居住区は基本的には薄板構造であり、効率向上のため、カッター利用の機械式切断も検討に値する。

ドック前方両舷に設けた移動式アーム&カッター（切断対象は6～12mm程度の薄板につき中型で対応）にて切断する。

切り取った鋼材はドック上甲板作業スペースに置き、必要に応じ裁断する。

### ③ 産業廃棄物処理

産業廃棄物となるもの（内装木材、廃プラ、防熱材、ガラス、コンクリート瓦礫など）の大半は居住区、及び機関室から発生するのが、品目別に集約し中間処理業者に処理を委託する。

## (8) 機関室解体

### ① 主機・補機解体

主機の分解は機関室内の天井クレーン（要給電）を使い、ピストン抜きを含め可能な範囲で分解しておき、発電機等の補機、ポンプ、モーターなど（中古品で再販可能）は据付台から外しておく。また、配管を可能な限り外しておく。置きタンクも架台から切り離しておく。

居住区撤去後、ドックのクレーンを使い取外し済みの機器及び部品を撤去する。

### ② 軸系解体

プロペラシャフト、プロペラは検査時の軸抜き要領で取り外しておく。

居住区撤去後、ドックのクレーンを使い取外し済みの機器及び部品を撤去する。

### ③ その他

機器・装置類撤去後、上部より置きタンク、配管、ダクト、敷板等を取外し撤去。船殻構造のみの状態にし、船殻解体工程に繋ぐ。

## (9) ドック内換気

切断ガスに水素ガスを使用するため、ドック内の換気には十分な注意を払う必要がある。

ドック改装に際し、改装船の構造を活かし（トップサイドタンクを活用）通風経路を確保する。また、ドック内随所に「ガス検知器」を設置する。

（注）（株）アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドの試設計ではドック内天井に通風機4台の設置

## (10) 鉄スクラップ生産・出荷

### ① トラックサイズ出荷

ドック内での船殻を中バラシ切断切り出し後、後方裁断スペースでトラックサイズにまで小バラシし出荷するのが、工程的には手間がないが、鉄スクラップとしての売却価格は炉前サイズには劣る。

### ② ギロチン・シャーによる炉前サイズ加工

#### (a) ギロチン・シャー

上記①のトラックサイズでの出荷から、より商品価値の高い炉前サイズまで裁断した方が採算上有利になると考えられる（トラックサイズと炉前サイズの価格

差は2,000~3,000円/トン程度)。

(b) 炉前サイズ裁断・出荷

ギロチン・シャー脇に半自動ガス切断機を備え、中バラシサイズの鋼材をギロチン・シャー受入れ可能サイズ（幅1.2m、長さ10m以下程度の寸法）に分割後、炉前サイズに裁断。

ギロチン・シャーより出た製品スクラップはベルトコンベアーで船側外板に設けた開口ポートより搬出する。船側ポートは左右両舷に設け、海側はバージ、陸側はコンテナケース&トラックにて出荷する（バージは転炉向け、トラックは電炉向けとなる）。

また、毎日出荷を前提として、バージ及びコンテナケースは複数台を回転させる。

(11) 現場作業員配置

船殻切断グループ（24人）、居住区解体グループ（12人）、機関室解体グループ（8人）、艀装品バラシ・機器類分解等グループ（11人）の4グループにて構成し、合計55人体制とする。

更に、炉前サイズ加工での出荷を目指すなら、炉前サイズ切断グループとして3人を加え58人体制となる。

(12) 工程表（試案）

上記の解体作業要領を前提に① P'max Bulker、② Container船につき工程表（試案）を作成してみた。コンテナ船の方が船型大きく、切断長が長くなるので日数は掛かるが、1日当たりの鋼材切り出し効率は高く鉄スクラップ生産効率は25%程度高い。

	P'max Bulker 9,744LDT L215.0×B32.2×D18.2m	Container船 15,215LDT L244.7×B32.2×D21.1m
入渠前alongside	3日	3日
入渠作業	1日	1日
入渠中工事	28日	38日
工事後渠中清掃	1日	1日
合計工事日数	33日（入渠30日）	43日（入渠40日）
LDT/day	295LDT/day	354LDT/day

(13) 全体所要工数

上記6.(6)切断長・切断時間試算、12. 現場作業員配置、13. 工程表から、P'max Bulker 1隻の解体に要する工数を算出すると次のとおり。

船殻切断はLDT  
に比例すると見

LDT : 9,744 t      12,251 t

グループ	工数hr①	室蘭PJT実績	→修正②	圧縮率①/②
船殻（含む居住区）鋼材切断関連	<b>5,760</b>	15,561	12,377	47%
居住区内装・産廃処理	<b>1,680</b>	2,526	同左	67%
艀装品・分解・雑工事	<b>2,400</b>	4,047	同左	59%
機関室解体	<b>1,920</b>	3,000	同左	64%
クレーン運転	<b>1,440</b>	1,946	同左	74%
合計	<b>13,200</b>	28,080	23,896	55%

室蘭PJTの実績と比較してみると、船殻切断関連が大幅に圧縮（47%）されることになるが、これはドック内施設の各種装置および半自動化機器による大幅な効率アップによる。また、その他の作業においてもドック施設の優位性をフルに活用することでかなりの圧縮が見込まれる。

#### (14) 解体コスト試算

##### ① 運営費

上記12.の工期と13.の工数から、運営費を試算して見ると次のとおり。

	P'max Bulker 9,744LDT	Container船 15,215LDT
運営費総額	62,200千円	77,500千円
<b>運営費コスト/ LDT</b>	<b>6,364円/LDT</b>	<b>5,094円/LDT</b>

\* Container船はLDTが大きく解体効率が良い。

##### ② 資本費

加えて、設備総額から資本費を試算してみると次のとおり。但し、VLBC改装費総額は解体装置類の詳細が固まっておらず、見積り金額は変動するため、3つのケースで試算してみた（総投資額の2割は資本金、8割が借入金的前提でのCash Flowベースのコスト）。

	ケース1	ケース2	ケース3
設備投資額	35億円	40億円	45億円
コスト/Day	741千円	845千円	952千円
P'max Bulker 工事期間35日	2,652円/LDT	3,031円/LDT	3,410円/LDT
Container船 工事期間47日	2,288円/LDT	2,615円/LDT	2,941円/LDT

\* Container船は工期が長くなるが、LDTが大きいので、LDT当たりのコストは小さくなる。

③ 解体総コスト = ① + ②

	ケース1	ケース2	ケース3
P'max Bulker	9,016円 / LDT	<b>9,395円 / LDT</b>	9,774円 / LDT
Container船	7,381円 / LDT	<b>7,708円 / LDT</b>	8,035円 / LDT

LDTと工期は正比例せず、LDTの大きな船型の方が解体コストは安くなる。  
設備投資がケース2で収まれば、平均的には8,000円 / LDT程度のコストになると推察される。

### 3.3 シップリサイクル事業の解体コスト削減に資する、我が国の解体技術の経済面・技術面の実態把握調査

本調査では、解体技術のコスト削減に資する切断技術の高度化研究を実施するため、室蘭パイロットモデル事業の実験結果をもとに、切断技術開発要素を明確化すると共に、我が国における現存する解体技術及び先端解体技術の実態を把握し、そのシップリサイクル事業への適用性の分析を行った。

室蘭パイロットモデル事業では、最近の経済情勢等を考慮し、荷動き低下により解体需要が高まることが予想される自動車専用船（Pure Car Carrier; PCC）をモデル船に選定した。

解体のための大型外航船の選定にあたっては、川崎汽船（株）、太陽日本汽船（株）共同保有船である大型外航自動車専用船「ニューヨークハイウェイ」を確保した。本自動車専用船の主要目は次のとおりである。モデル船舶の自動車専用船の写真を図3.3.1に、その概要を表3.3.1にそれぞれ示す。



図3.3.1 解体される自動車専用船（PCC）

表3.3.1 対象とするPCC船舶の概要

用途	車両運搬	
船名	にゅーよーくはいうえい	
進水年月	1986年	
総トン数	50334	
総重量	12000T	
車両甲板	13層	
車両積載量	5472台（4.125×1.55換算）	
主要寸法	全長	190m
	登録長さ	180m
	幅	32.2m
	深さ	32.08m
	喫水	8.721m

室蘭パイロットモデル事業での解体実証実験のうち、船体の解体に係る主な作業は業務量に従って、作業員15名～最大23名のメンバーで行われ、居住区の内装除去作業、燃料油等の残油抜き取り、機関室清掃作業他産業廃棄物処理等の作業には工事外注を行った。

表3.3.2 解体に関わる主要人員

職種	人数
解体工	10名
玉掛け工	5名
運搬工	5名
ガス解体工	10名
クレーン作業員	5名
合計	35名

表3.3.3 解体に関わる主要設備

設備	台数
120t吊海上クレーン船	1隻
200t吊クレーン	1台
ラバンティ・シャー	1台
バックフォー	3台
フォークリフト	3台
2tトラック	3台
自動ガス切断機	6台
ウォータージェット切断機	1台
金鋸	5台
3000t型フローティング台船	1隻

船舶解体手法には、ドック内で解体を行うドッグ式、船舶を岸壁に係留して解体を行うアフロート方式、砂浜に座礁させて解体を行うビーチング式がある。室蘭パイロットモデル事業における解体は、既存の港湾施設を使い、かつ大規模な設備を必要としないアフロート方式を採用した。本事業における解体は以下の手順で行っている。

- ・ 準備作業
- ・ 燃料・オイル類の除去
- ・ 上部居住区の撤去
- ・ 上部甲板の解体エンジン部、船首下層、船体下層中央部の解体

(1) 解体コスト削減に資する解体技術の抽出

室蘭パイロットモデル事業のコスト分析からみる特徴は、工事原価が高いことである。

総解体費用は3.9億円。アフロート方式による船体ブロックの大バラシを自動器及び手動のLPGガス切断で行い、陸上での小バラシを重機及びガス切断を用いた。作業場の面積が限定されたことから、大バラシに用いたクレーンは200t×1機、小バラシでもラバンティも1機であり、その他、マグネット、フォーク等をリースして6ヵ月間使用した。また、浮きドックをほぼ1ヵ月使用している。このため75百万円以上の費用が発生している。ガス切断作業工は常時20名程度であり、人数は多くないが、1隻の解体に6ヵ月を要しており、最終的に労務費も70百万円弱となった。

産業廃棄物の撤去、処理費として62百万円を要した。産業廃棄物除去は解体前の準備作業として必要であり、切断箇所によってはこの準備作業が切断コストに係ってくる。

工期を短縮することが事業化でのコスト低減の前提となり、そのためには解体速度（船体切断速度）の向上が必要である。

室蘭パイロットモデル事業においては、手動ガス切断、自動ガス切断合わせて7,000時間、クレーン作業（玉掛け、吊りピース取り付け）4,100時間で、ガス切断に関する作業に合計11,000時間消費している。直接切断作業以外のクレーンによる吊り降ろし作業を削減することによって、工数の50%以上が削減可能となる。生産能率から見ても、クレーンを有する作業は0.9t/hであり、クレーンを使用しない中央部では1.61t/hと効率が良い。

また、室蘭パイロットモデル事業は、室蘭地区において仮設設備、1隻のみ解体を行うモデル事業であるため、コスト面から事業化として成り立たない。そこで、既存の設備を有する状況で解体事業を進めることを検討すると、コストを2分の1程度に圧縮することが可能である。

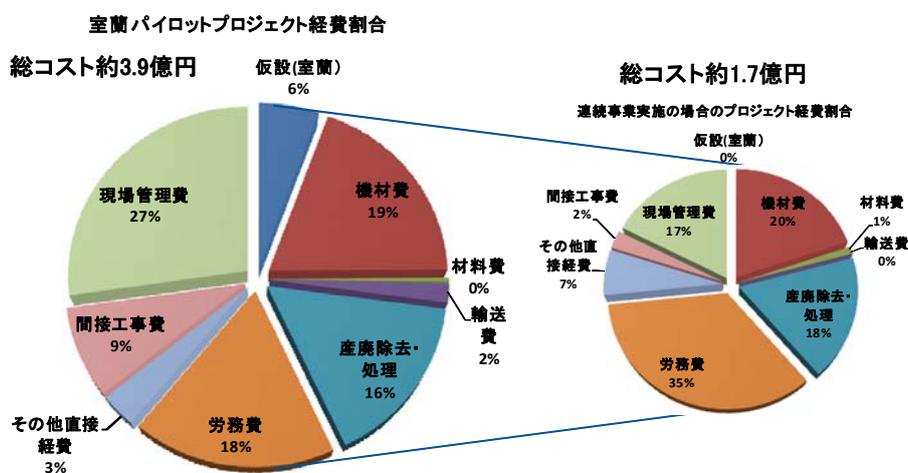


図3.3.2 室蘭パイロットプロジェクト&連続事業実施の場合のコスト比較

表3.3.4 連続事業実施の場合のコスト比較

		室蘭ケース	固定施設ケース
設備費【リース料または減価償却費】(千円)		37,969	1,242
機材使用料【リース料または減価償却費】(千円)		122,533	35,154
直接コスト	材料・光熱費(千円)	21,113	21,113
	産廃処理費(千円)	62,180	29,759
	労務費・外注費(千円)	101,055	57,451
間接費	販売・一般管理費(千円)	45,750	21,027
コスト合計(千円)		390,600	165,746
トン当たり総コスト(円/LDT)		31,886	13,530
トン当たり直接コスト(円/LDT)		15,049	8,843

解体手法に関しては、ラバンティ・シアーなどを活用した機械切断を多用し、ガス切断、クレーン作業など労務費が増加する作業をできるだけ抑制することが重要である。

## (2) 解体技術の実態把握調査

これまで室蘭パイロットモデル事業で使用された切断技術、従来からある切断技術、新切断技術について調査してきた。

ガス切断に替わる技術として、ウォータージェット切断、冷却脆化切断に関しては、研究開発段階のものが多い。

機械的な切断（ラバンティ・シアー）においては、船舶に使用される20mm以上の厚さの鋼板も切断可能であるが、破碎刃の寿命が短く、耐摩耗性を有した材料の開発が必要である。また、切断能力が高いアタッチメントは重量が増加し、重機本体の能力に依存するが、陸上から高い位置の切断は難しく、世界最高の高さを誇るコベルコ建機（株）の重機でさえも、アタッチメント先端は鉄筋を切断する能力しか無い。

船舶解体を高効率化し工期を短縮する上では、ラバンティ・シアーのような機械切断が有利であるため、最適な重機本体および切断用アタッチメントの開発、また破碎刃の材料開発が急務であると推察される。

表3.3.5 船舶解体における有効な切断技術

	従来技術	着目技術			
切断方法	ガス切断	移動式切断機による切断	水素ガスによる溶断	ウォータージェットによる切断	液体窒素による鋼材冷却切断
使用技術	LPガスによる切断	ラバンティールによる切断	水素ガスによる高効率ガス溶断	超高压水による切断	鋼の低温脆性を利用した切断
切断能力	約100mm/min (板厚:20mm)	(約10t/day)* *解体業者のHPより	約130mm/min (板厚:20mm)	約10mm/min (板厚:20mm)	一瞬 (完全に冷却されていることが前提)
メリット	汎用性が高い	・火気を使わない ・解体+裁断が可能 ・細かく裁断できる	・LPガスより30%高い切断能力 ・熱効率が低い	・火気を使わない	・火気を使わない ・大型鋼材を一瞬で切断できる
技術的課題		・大型重機が必要 ・切断刃の高寿命化	・ガス流量の最適化 ・LPガスとの取扱性	・切断速度の向上	・短時間で冷却・保冷する技術

(3) シップリサイクル事業への適用性分析

これまでの室蘭パイロットモデル事業コスト分析から、船舶解体プロセスにおいて「効率化すべき解体プロセス」は次のとおりである。

- ・ クレーン・玉掛作業の最小化
- ・ 複雑な船体構造部の切断速度向上
- ・ 居住区内装解体の効率化
- ・ 解体手法の検討

船舶解体プロセスと切断要素技術においては、既存の熱切断、機械切断の適切な使用を中心に展開することを前提として、解体の効率化のためどのような解体手法と適切な重機を使用するかを検討しなければならない。

課題	対応
クレーン使用・玉掛作業の最小化	リーチのある大型油圧切断機の使用
複雑な構造の切断速度向上	水素切断, ワイヤソー等の適用拡大
居住区内装解体の効率化	小型重機の投入と廃材の選別効率化

## 4. まとめ

### 4.1 改装フローティングドック方式の船舶解体施設の研究

既存の20万載貨重量トン級大型撒積船を改装したフローティングドック方式の船舶解体施設及び同施設内の主要装置・機器の設計を行った。

改装フローティングドック方式の船舶解体施設の事業化に向けては、更に次の事項の検討が必要である。

- (1) 本フローティングドックはNKフローティングドック規則の乾舷高さを満足せず、また、安全甲板も装備していないが、これらは本フローティングドック要件に適用されないとの仮定のもとに展開した。安全に作業できる二重底高さや安全甲板を設ける場合にはVLCCからの改造も有効であり、その改造費は大差がないものと推測される。
- (2) 遠隔操作アーム先端の船体への押し当て制御は今後の開発が必要である。但し、1人が1つのガス切断を遠隔操作するのでは解体作業効率面でのメリットがない。このため、解体作業の効率向上が図れる装置を検討する必要がある。
- (3) 電気磁石式スプレッダーによる解撤材、スクラップ材の吊り上げには落下の危険性がある。簡易な吊り上げ装置を検討する必要がある。

## 4.2 改装フローティングドック方式の船舶解体施設を用いた船舶解体手法に関する調査研究

大幅な機械化による船舶解体作業の合理化を目指した先進国型のシップリサイクル施設（既存の20万載貨重量トン級大型撒積船を改装したフローティングドック方式の船舶解体施設）を用い、一連の船舶解体作業において効率の極大化がなされる解体手法の調査研究を行った。

改装フローティングドック方式の船舶解体施設を用いた船舶解体手法の事業化に向けて、更に次の事項の検討が必要である。

### (1) 船殻切断作業の必要工数の精度向上

#### ① 船殻切断長の検証

今回の切断長試算は手計算で行なったものであり、船殻構造の詳細までは考慮出来ていない。造船所の協力を得て、CAD図にて（又はCAD図に起こして）コンピュータ上で切断線を決め、切断長をより正確に算出することが必要である。船型はBulker、Container船に加え、PCC、チップ船、Tanker、LPGについても対象とする必要がある。

#### ② ポータブル自動切断機の改良と実証

現状の市販の切断機をそのまま使える箇所も多いが、船舶解体に用途を限定しての改良の余地があると思われる。特に、骨付き鋼材切断の為、H型鋼切断用の切断機の改良が望まれる。

実物大の試験鋼材を用意し、改良型切断機にて骨付き鋼材の切断（板側及び骨側からの切断）試験を行ない、その切断性能を確認する必要がある。

#### ③ ポータブル自動切断機の“段取り時間”の検証

今回は最長稼働の切断機における火炎切断稼働時間と同時間を“段取り時間”と想定したが、今後は高所作業車を使った実験を行い、いくつかのパターンで段取り時間を検証する必要がある。

#### ④ 水素ガス切断

切断ガスとして造船所でも実績のある水素ガスの使用を考えているが、解体切断に使った実績はなく、切断面の品質を問わない場合の最大切断速度について、メーカーの協力を得て実証実験を行う必要がある。（ポータブル自動切断機、及び手持ちタイプの自動切断機にて）

#### ⑤ 鋼材裁断時間

切り出した鋼材の裁断は重機による機械式切断を考えているが、切り出し枚数に追従出来るかどうかを①の切断モデルを基に各船種において検証することが必要である（トラックサイズまでの裁断、及び、炉前サイズまでの裁断の双方を考

慮)。即ち、二重底解体用2機、切り出し鋼材裁断用2機で炉前サイズまでの切断が可能かどうかを検証する必要がある。場合によってはガス切断の併用も考慮する必要がある。

#### (2) 炉前サイズ加工

生産スクラップ鉄を炉前サイズに加工すればその販売価格は高くなる（トラックサイズとの値差2~3千円／ton）が、重機による機械切断だけでは能力不足の場合は、ギロチン・シャーの設置が必要となる。ギロチン・シャー（1.5億円程度）等の設備投資はかなりかかるが、今回試算した解体コスト8,000円／LDTから見て、炉前サイズ加工による値差は採算上の影響が大きく、マーケット調査などを更に進めその必要性を検討する必要がある。

#### (3) 燃料タンクの清掃

解体船の燃料タンクの清掃はそのやり方次第で大きく工数が増減する作業であり、今回提案した清掃方法の仕上がり具合を修繕船などを使い検証する必要がある。

#### (4) フローティングドックの岸壁側係留設備

改装フローティングドックの試設計実施者に係留の最大荷重を算出してもらい、岸壁側の施設の検討を進める必要がある。なお、係留方式は“キャッチ&レール方式”を考えている。

#### 4.3 シップリサイクル事業の解体コスト削減に資する、我が国の解体技術の経済面・技術面の実態把握調査

##### (1) 解体コスト削減に資する解体技術の抽出

室蘭パイロットモデル事業における船舶解体時に発生するコスト分析結果を整理し、解体コストの削減に必要な解体技術を明確化した。

室蘭パイロットモデル事業のコスト分析からみる特徴は工事原価が高いことである。工期を短縮することが事業化でのコスト低減の前提となり、そのためには解体速度（船体切断速度）の向上が必要である。

本解体実証実験においては、手動ガス切断、自動ガス切断合わせて7,000時間、クレーン作業（玉掛け、吊りピース取り付け）4,100時間で、ガス切断に関する作業に合計11,000時間消費している。直接切断作業以外のクレーンによる吊り降ろし作業を削減することによって、工数の50%以上が削減可能となる。

##### (2) 解体技術の実態把握調査

我が国における既存の切断技術・解体工法を含めた解体技術を把握し、各技術の性能やコスト（技術開発コスト、初期投資額、運用コスト等）についてリスト化した。

ガス切断と水素ガス溶断の能力については出典により差が見られることから実証が必要である。

ガス切断に替わる技術として、ウォータージェット切断、冷却脆化切断に関しては、研究開発段階のものが多い。

機械的な切断（ラバンティ・シャー）においては、船舶に使用される20mm以上の厚さの鋼板も切断可能であるが、破碎刃の寿命が短く、耐摩耗性を有した材料の開発が必要である。また、切断能力が高いアタッチメントは重量が増加し、重機本体の能力に依存するが、陸上から高い位置の切断は難しい。

船舶解体を高効率化し工期を短縮する上では、ラバンティ・シャーのような機械切断が有利であるため、最適な重機本体および切断用アタッチメントの開発、また破碎刃の材料開発が急務である。

##### (3) シップリサイクル事業への適用性分析

上記調査結果に基づき、シップリサイクル事業化に対する各技術の有効性を分析し、解体コスト削減のための新規解体技術の応用についての提言を取りまとめた。

船舶解体プロセスにおいて、「効率化すべき解体プロセス」は、①クレーン・玉掛作業の最小化、②複雑な船体構造部の切断速度向上、③居住区内装解体の効率化、④解体手法の検討である。

船舶解体プロセスと切断要素技術においては、既存の熱切断、機械切断の適切な使用を中心に展開することを前提として、解体の効率化のためどのような解体手法と適切な重機を使用するかが重要である。

— シップリサイクル高度化技術研究 成果概要報告書 —

2011年（平成23年）8月発行

発行 財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2丁目10番9号 ラウンドクロス赤坂

TEL 03-5575-6428

FAX 03-5114-8941

URL <http://www.jstra.jp>

E-mail [info@jstra.jp](mailto:info@jstra.jp)

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。