

先進国型シップリサイクル（室蘭プロジェクト）の構築に向けて

清水 一道

（室蘭工業大学 教授、室蘭シップリサイクル研究会 座長）

目 次

1. はじめに
2. 背景
3. 室蘭シップリサイクル研究会の取り組み
4. 先進国型シップリサイクルシステムパイロットモデル事業
5. 今後の事業化へ向けての課題
6. まとめ

1. はじめに

北海道室蘭市において、2010年3月から9月にかけて、日本初の大型船舶解体実証試験（パイロットモデル事業）が行われた。そこで本稿では、シップリサイクルの現状や条約、パイロットモデル事業での成果、今後の事業化へ向けての課題について記載する。

2. 背景

海運大国である我が国における船舶の解体は、鉄鋼不足に陥った第一次世界大戦勃発以降、鉄鋼業への材料供給のために始まったと言われている。しかし高度成長期に入った日本では解体コストが高騰し、環境問題の規制が強化される中、1970年代以降縮小していった。その後、今日まで世界の船舶解体の中心は労働賃金が安い、インド、パキスタン、バングラデシュの開発途上国及び中国に移行している。これらの国での船舶の解体目的は国内の鉄鋼・非鉄金属需要の補完であり、さらに中古機材の再利用であり、単に船体の解体ではなく、船舶の「リサイクル」による鋼材等の生産と部品の「リユース」が目的である。特にバングラデシュにおいては国内鋼材需要の70%が船舶のリサイクルによる鉄であり、伸鉄、電炉材料のほか、厚板はそのまま造船に使用されることもあり、船舶リサイクル関連の間接労働者人口は50万人とも言われている。

しかし、これらの地域における船舶リサイクルは、アスベストが飛散し、廃油が垂れ流され環境への悪化が懸念されている。また、労働者の多くがヘルメット無し、裸足など極めて危険であり不衛生な作業を行っており、作業時の安全性の確保がなされておらず、死亡事故の多発などが世界的な問題となっている。

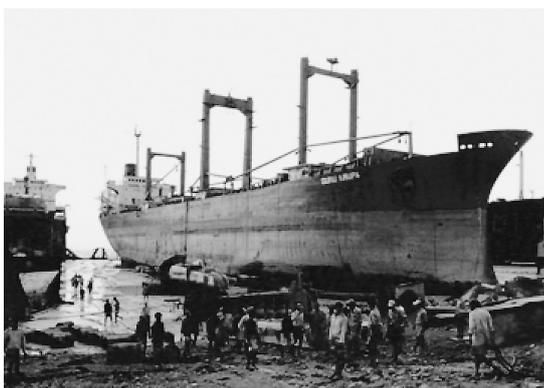


写真1.



写真2.

Bangladeshでの船舶解体の現状

こういった船舶解体に関する問題が国際機関で取り上げられ、国際海事機関（IMO）において、「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（以下シッパーサイクル条約）」が2009年5月に採択された。シッパーサイクル条約は、船舶のリサイクルによって引き起こされる事故や環境への悪影響などを出来る限り無くすために、条約に適合する船舶を、条約に適合する船舶リサイクル施設でのみリサイクルさせることを強制しようとするものである。そこで、安全かつ環境にやさしい先進国型の船舶リサイクルシステムの構築を推進するとともに、低コストでの船舶解体方法や廃船から回収される鉄スクラップを高付加価値でリサイクルする方法の確立が急務となってきた。

3. 室蘭シッパーサイクル研究会の取り組み

環境や安全に配慮した廃船の解体・高付加価値な製品への再資源化を図る先進国型のシッパーサイクルシステムを構築し、地域経済の活性化を目指すための研究を目的として、2008年4月に北海道室蘭市において、自治体、大学、地元企業からなる産学官コンソーシアム「室蘭シッパーサイクル研究会」（設立時30団体）が発足した。北海道室蘭市は、「ものづくりのまち室蘭」と言われており、製鉄所、造船所、精油施設をもち鉄鋼・石油・化学といった素材産業が発達している国内有数の工業地帯を有し、室蘭港という自然の良港があり、シッパーサイクルシステムに適した都市といえる。

室蘭シッパーサイクル研究会の活動として、シッパーサイクルを高効率な船舶解体（安全教育・事故発生時訓練等を含む）から、資源・廃棄物の分別・処理、鉄スクラップの輸送など室蘭地域の既存施設を活用したシッパーサイクルシステム構築の検討を進め、内閣官房地域活性化政策である「地方の元気再生事業」に「船が生まれ変わるまち室蘭プロジェクト」として選定され、2008年から2年間ヤード調査や漁船の解体試験、騒音などの環境測定などの研究業務、研究会活動、市民周知のシンポジウム開催等を行った。

その成果が評価され、2010年に国土交通省の「先進国型シッパーサイクルシステムの構築に関する調査」事業にも採択された。国内での大型船リサイクル産業の創出に向けたパイロットモデル事業として、実際に大型船を解体し、事業性評価等を実施した。併せて、新たな船舶解体手法であるウォータージェット切断機の開発を行い、安全かつ環境に配慮



写真3. 定期的に開催された研究会

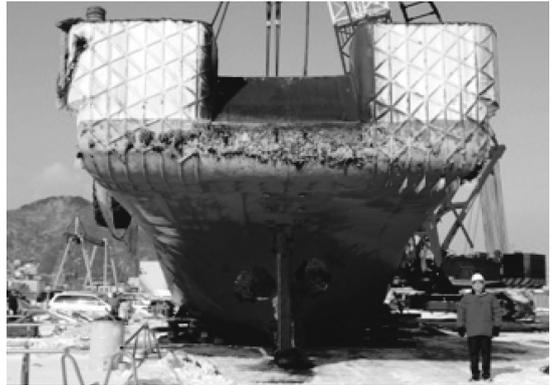


写真4. 漁船の解体試験

した先進国型シップリサイクルシステム構築の推進に務めた。

4. 先進国型シップリサイクルシステムパイロットモデル事業

国土交通省海事局「先進国型シップリサイクルシステム構築に関する調査」に採択された本事業は、①国際条約を背景とした国家プロジェクトであり、②シップリサイクルによる地方都市の元気再生、③産学官からなる共同企業体による事業の推進、④専用ヤード以外の公共岸壁を用いての解体試験と以上4種の特質が見出され、事業遂行のための体制確立が求められた。

2010年3月に川崎汽船株式会社から提供された自動車運搬船（以下PCC）「にゅーよーくはいうえい」（国際総トン数約45000GT：1985年大島造船所にて建造）を室蘭港の公共岸壁「西2号埠頭4～6号バース」を利用し解体実証試験を開始した。

本事業における解体方式は、通常バングラデシュなどの発展途上国で見られる砂浜に船舶を座礁させ、干潮時にガス切断などを使用して人手で解体する方式（ビーチング方式）と異なり、既存の港湾施設を活用でき、かつ大規模な設備を必要としない、船舶を岸壁に繋留して解体を行うアフロート方式を採用した。

解体の流れとして、PCCの西2号埠頭繋留後、①燃料タンク等からの油脂類の除去・洗



写真5. 解体船「にゅーよーくはいうえい」

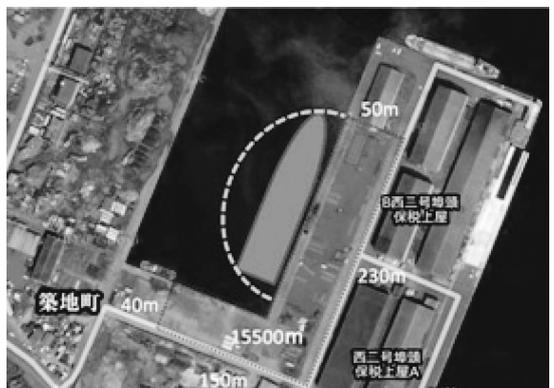


写真6. 室蘭港「西2号埠頭」

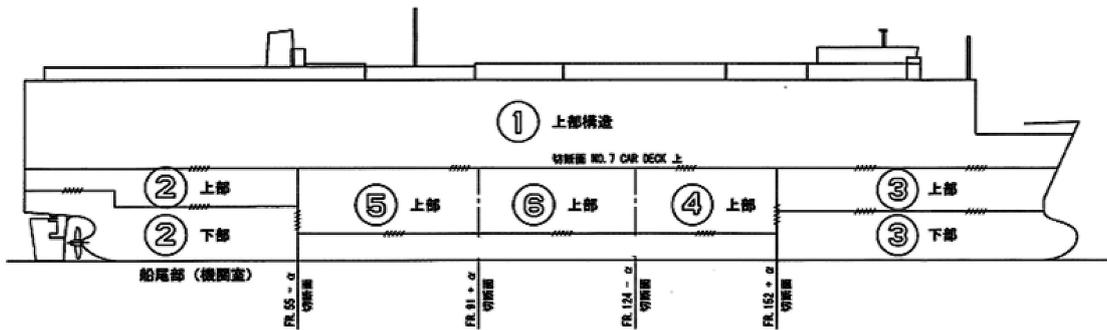


図1. PCC船体構造および解体順序

浄、②居住区の解体、③船体の解体（上部甲板、エンジン部、船尾部、船首部）と進めた。上部居住区には木材や断熱材が使用されており、セイバーソーなどを利用し断熱材への引火対策を施した方法にて解体を進めた。また、発生する廃棄物は、自治体の定める法令に従い、一般廃棄物、産業廃棄物等に分別し適切な処理を行った。

これらの撤去はすべて手作業で行われ、燃料・オイル類の除去と合わせ1カ月程度の期間を要した。船体の解体は、クレーンにて吊り上げ可能なサイズにガス切断を行い陸揚げ後、地上にてトラックサイズに細断を行なうのが一連の流れである。解体の効率化を目指し幾つかの取り組みを行った。ガス切断において、解体ヤード内に専用のタンクを設け、配管を配置し、自動切断機を使用して作業者の負担軽減に務めた。

PCCは車両を積載するための甲板が多層あり、一層毎に切断、吊り上げ、陸揚げという従来の工程による解体では効率が悪いため、今回、自動切断機を利用し三層切断法という工法を用いた。三層切断法では、あらかじめ三層分の甲板に自動切断機を用いて、ミシン目の様な分割用の切れ目を入れたのち、クローラークレーンにて吊り上げ可能なサイズである20ton毎に分割、陸揚げを行う。その後、陸上にてミシン目を切断することで、トラックサイズに分割され、出荷される。作業の進行に伴い、船体が傾くことの無いようにブロックごとに陸揚げ作業進度の調節を行った。この方式は、自動切断機による作業員の安全性の確保、作業速度向上につながり、また陸上での解体工程、切断を行うための面積を低減化することが可能であり、狭小ヤードにおける作業効率が向上する。解体担当作業員には、船の構造を熟知した造船会社の熟練工を起用することで、作業員の数を途上国の10分の1、20人に抑えた。また、各種作業において各種安全措置を行い、災害発生時および環境汚染時に迅速に対応するため、安全対策計画を作成し遂行した。安全管理の一例として、1ヶ所に必ず2名以上の作業員を配置している。現場事務所では、ボードを設置し作業箇所および安全状況の確認を行っている。また、解体中船舶の甲板上では、壁面を腰の高さで切断をやめ、手すりとして活用し作業員の転落を防止している。

効率化を図るためにスクラップ鉄の出荷方法にも着目した。当初は一箇所にて集積し運搬する方式を取っていたが、これはトラック位置の乱雑さの原因となり、作業効率の悪化を招いた。そこで、甲板を陸揚げした位置にて裁断を行い、スクラップ鉄を整列させ、トラック位置も固定することにより作業効率の改善を図っている。搬出方法の改善により、

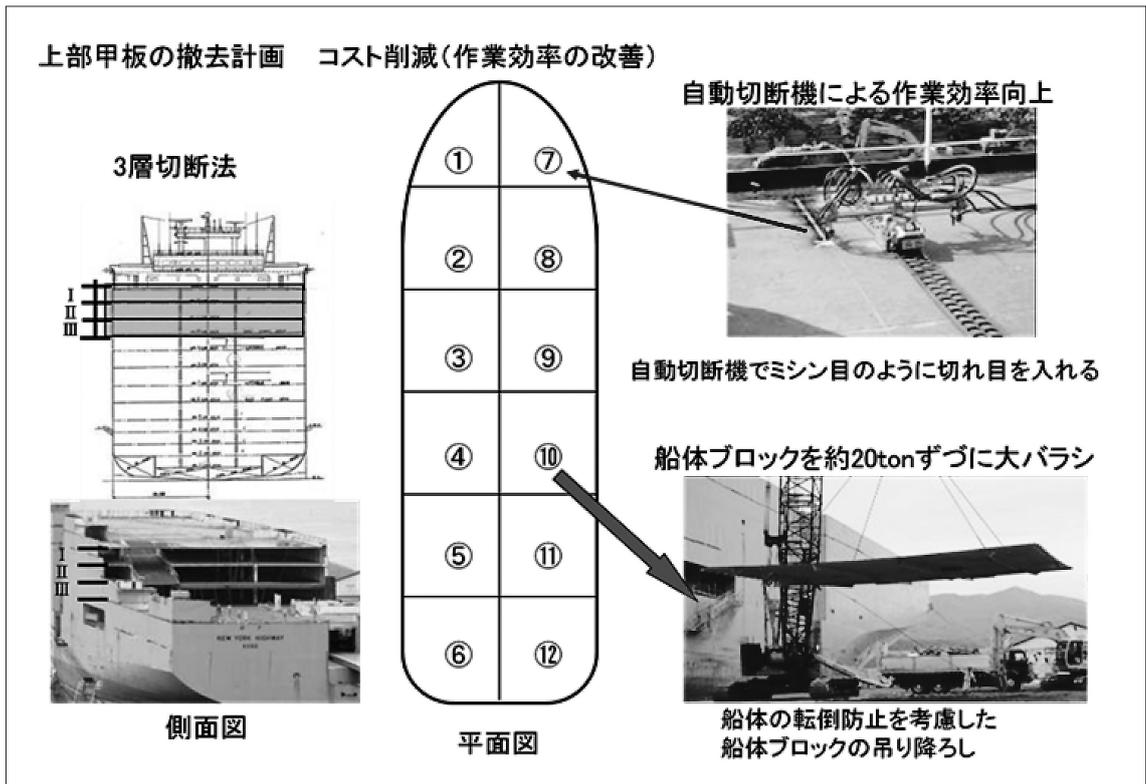


図2. 切断作業効率化の一例



写真7. PCC解体作業の流れ

一日あたりの搬出量は倍増された。

船首および船尾の解体においては、解体時における油脂類の海洋流出を防ぎ、底部の水中切断などコスト削減及び安全性の観点から、ケーソン（コンクリート防波堤）製作等に使われるフローティングドックを使用し、船体を浮上させて行われた。浮上した状態で、喫水線以下の船体切断、スクリューおよびシャフトの撤去が行われた。

台船として再利用される下部中央部分を除き解体が終了し、2010年9月30日全ての工程が終了した。解体に関する工数25,250時間を含めた、総工数40,910時間の事業であった。

今回のモデル事業を進める中で、天候やヤード面積の狭さなど幾つかの問題点が発生した。解体中の船体は、非常にバランスが悪い状態となるため、天候が悪化する恐れがある場合、事前に風況データを入手し、船体の繫留ロープの増し締めや、24時間体制による監視、状況によってはタグボートを手配し、船体の岸壁への押し付けを検討するなど繫留管理を行った。解体を行った2010年は低気圧の影響が大きく、特に4月から6月の解体前半に強風による作業中断が余儀なくされ、結果40日間の遅延が発生した。また、台風や前線の影響により、7月～8月は大雨が多く、解体作業に甚大な影響が発生した。特に、8月11日から13日の3日間で200mm以上の降雨量が観測され、解体船舶の機関部などに雨水が貯留し、オイル等と混合し、排水時において油水分離などの処理が必要となり、処理費用などのコストが増加した。既存の公共岸壁である西2号埠頭4～6号バースにおいて、解体ヤードとして使用した面積は、約15,000㎡であり、陸上解体スペースおよびスクラップヤードが狭く、効率的な解体・搬出計画が必要となった。

環境面に関しての取り組みとして、各種調査を行った。水質に関しては、作業期間中、水質汚濁防止法に基づく全42項目について測定し、基準値を超過する物質は確認できなかった。これは、事前作業として燃料・オイルタンク内の除去・洗浄を行い、港湾内への油脂類の流出防止を防ぐため2重のオイルフェンスを敷設し、作業時ウェスなどによるオイルの拭き取りを徹底的に行った成果である。また、騒音に関しては、侵入防止および安全対策のために設けた高さ3mの防護柵が遮音壁の役目を担い、騒音基準値を満たす距離が3分の1程度で収まった。遮音壁がない場合は、周辺民家への騒音影響が及ぶため遮音壁の設置は必須であった。船体底部には、防汚塗料としてトリブチルスズ（TBT）が使

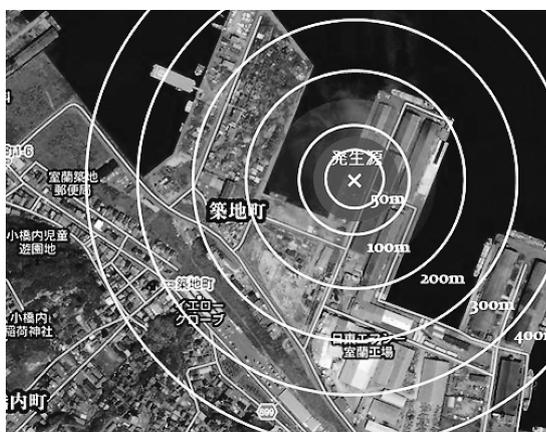


写真8. 周辺施設への騒音の影響（遮音壁有）



写真9. 底部塗膜剥離作業

用されている可能性があり、底部塗膜調査を行ったが、塗膜片からのスズの検出はされなかった。しかし、ガス切断時の有害ガスの発生を懸念して切断箇所の塗料剥離シールを使用して除去後、切断を行った。

搬出されるスクラップ鉄の再利用について調査を行うと、船舶に使用される鉄は、板厚が厚く、鉄の品質を左右する不純物元素が少ない事などが判明した。鋳鋼製品を製造する上で、スクラップ鉄を利用する際、含まれるリン（P）、マンガン（Mn）などの不純物元素は除去する事が困難であり、含有されることで内部欠陥や、伸びの低下など品質の低下に繋がる可能性がある。PCCから発生したスクラップ鉄を溶解し各種試験を行ったところJIS規格の条件を満たしており、シップリサイクルから発生するスクラップ鉄は非常に良質であり、自動車部品や造船用厚板材などの高付加価値製品への再生およびその利用が期待できる。

ガス切断における新技術の開発も行われた。船舶のような大型建造物の解体では、ガスの燃焼を用いた溶断解体が一般的に行われている。しかし、船舶にガス溶断を用いる場合、船倉内部に油等の可燃性残渣があると爆発の危険性がある。現在多くの船舶解体を行っているバングラデシュでは、ガス溶断に伴う爆発により多数の死傷者が発生している。また、ガス溶断においては、燃焼に伴う二酸化炭素の発生、塗装から発生する有毒ガスなどの環境負荷も問題となっているため、ガス溶断に変わる新たな手法が求められている。本取り組みにおいては、ウォータージェット切断機による船舶解体を目指し研究を行っている。ウォータージェット切断とは、高圧の水を噴出することにより切断を行う手法であり、火気の使用を伴わないため、爆発の危険が無く、作業環境の改善が見込める。また、噴出圧力の調整により、塗装の除去作業などを合わせて行うことも可能であり、切断時のガス発生を抑制し、作業効率の向上も見込める。

現在市販されているウォータージェット切断機の水圧は、厚さ30mm以上となる船体切断をする能力が十分ではなく、使用されている超硬合金製の高圧水ノズルの寿命が短いことも問題である。そこで、より高い水圧を達成させるために当大学では、耐摩耗性の高い新規材料の開発を進めている。開発工程として、板厚に対する貫通速度試験と切断速度試験を行った。貫通速度試験は、ノズル先端部から対象までの距離を1mmとし、アプレッ



写真10. ウォータージェット切断機本体



写真11. 船体底部の切断試験

シブ材としてガーネットを200g/min供給、吹き出し圧力を150、300MPaとした時の、板の貫通速度を測定した。この結果から、船舶解体にウォータージェット切断機は十分使用可能であるが、板厚が上昇すると、その板厚分だけ対象物との距離も離れる為、切断速度が低下するということが考えられ、今後、切断速度を上昇させる技術開発が必要となっている。

本事業では、地域貢献活動としてシップリサイクルに関するシンポジウムの開催や、地域児童向けの環境学習に積極的に取り組んできた。

室蘭発のモデル事業としてシップリサイクルシステムを世界へ発信するとともに港の活用促進および新産業の創出といった地域経済活性化の可能性を示す事を目的に2010年6月15～16日の2日間にわたり、国際シンポジウムを室蘭市で開催し、両日合わせて市民ら500名を超える参加者となった。15日は、ギリシャ、フランス、インド、バングラデシュ、日本の5カ国8名の講師を招き、基調講演およびフォーラムを行い、市民ほか国内外船舶・産業界、行政機関などの関係者が来場した。16日は、雨天にも関わらず国内専門家と市民が解体現場見学と当大学でウォータージェット切断試験の公開に参加した。

環境学習では、解体船舶に搭載されていた国旗や海図、ライフジャケット、船舶鐘などの備品や、バングラデシュなどでのシップリサイクルの現状のパネル展示を行った。海外からの視察、中央官庁、地方自治体、地域住民など事業期間中に約800名が見学を訪れ、シップリサイクル事業についての関心の高さが伺えた。



写真12.



写真13.

第1回シップリサイクル国際シンポジウム講演風景

5. 今後の事業化へ向けての課題

今回のパイロットモデル事業は、1回限りの解体工事であり、機材の短期間リース、ビルジ処理費の増加など、コスト高となっている。今後事業化するにあたり、効率的かつ省力化可能な解体技術が必要不可欠であり、試算によると50%以上の経費の削減が可能となる。

持続的なシップリサイクル事業成立のための経済的要件として、発生するスクラップ鉄の買取価格が安定的な売却先の確保（スクラップ価格の安定）、継続的な解体実施量の確

保（解体船の調達）、外国との競争力、付加価値の提供、機材費の減少（大型重機を使用しない解体手法）、施設使用料・償却費の低減、産業廃棄物の減容化、機械化による工数削減、連続解体による費用削減（労務費の減少）などが挙げられる。

事業化へ向けて求められる重要条件として、コスト削減（工期短縮）が求められる。中国などに対抗出来る国際競争力をつけるためには、工期を6ヶ月から2ヶ月短縮することが大前提といえる。解体コスト削減のためには工期短縮、すなわち作業時間の短縮が必要である。工期が短縮されれば、重機等の使用料金も削減されるが、工期短縮のため大型重機を大量投入しては本末転倒である。このため、大バラシと小バラシにおいて、出荷サイズを見据えた切断プロセスの効率化が必要となる。船体部位毎の切断効率を分析すると、上部構造の解体に要した時数の41%がクレーン・玉掛関連作業であり、船首部、船尾部の解体は構造が複雑で補機、配管等が多く、時数を要し、最も効率が悪い。これらの分析から船体の解体プロセスにおいて、「効率化すべき解体プロセス」は、クレーン作業の最小化、複雑な船体構造部の切断速度向上であり、効率化のために、専らガス切断を利用した解体から、陸上解体でも用いられている「大型油圧切断機の使用による船体解体」など、切断技術の開発が求められている。

6. まとめ

室蘭パイロットモデル事業では、締結される国際条約に合わせ、環境に配慮した先進国型シップリサイクルシステムの構築を目指し取り組んできた。今後、安全かつ環境に配慮した解体を、日本の技術により高効率で行うことで、安全雇用の創出や地元経済の活性化が期待できる。室蘭市だけではなく全国各地においてシップリサイクル事業を進めるに当たり、技術面だけではなく、地域住民や地元企業の理解、大学の協力が必要不可欠である。近い将来、産学官民連携により、確立した事業化モデルを全国的に展開し、先進国型シップリサイクルを室蘭から世界へ発信することを期待している。



図3. シップリサイクル事業化へ向けたコスト削減技術の開発

主な参考文献

- 1) 日本造船工業会, 造船関係資料, (2010)
- 2) サプライサイクルの動向-先進国型サプライサイクルシステムの構築-, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第45巻, 第5号, pp.85-59, (2010)
- 3) 先進国型サプライサイクルシステム構築に関する調査（パイロットモデル事業）報告書, 室蘭サプライサイクル研究会, (2010)