



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



## シッパーリサイクルにおけるアルミリサイクルの現状

メタデータ	言語: Japanese 出版者: カロス出版 公開日: 2016-06-27 キーワード: 550 作成者: 清水, 一道 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008943">http://hdl.handle.net/10258/00008943</a>

## シップリサイクルにおけるアルミリサイクルの現状

その他（別言語等） のタイトル	The Current Status of Aluminum Recycling in Ship Recycle
著者	清水 一道
雑誌名	アルトピア
巻	46
号	5
ページ	14-20
発行年	2016-05
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008943">http://hdl.handle.net/10258/00008943</a>

# シップリサイクルにおける アルミリサイクルの現状

*The Current Status of Aluminum Recycling in Ship Recycle*

清水 一道\* Kazumichi SHIMIZU

日本のアルミ産業は、1980年代のアルミ製錬事業からの撤退以降、新地金の供給は全量を輸入に頼っている。アルミスクラップはアルミ資源を保有しない我が国にとって貴重な国内資源である。船舶解体を日本の技術により高効率で行うことで、安定した鉄・非鉄金属スクラップの供給、雇用の創出や地元経済の活性化が期待できる。

本稿では、船舶解体における低コストを目指した解体手順の効率化及び新技術の開発による環境改善について概要を述べる。

## 1. はじめに

世界人口は2050年に90億人に達し<sup>1)</sup>、それに伴い一次エネルギー需要は2030年に現状の1.5倍まで増加が予想され<sup>2)</sup>、現在の資源消費ペースを維持すると、2050年時点の一部の金属資源は枯渇が懸念<sup>3)</sup>されている。近年では、資源利用に関する様々な問題が顕在化しており、その対策が広く求められている。

日本のアルミ産業は、1980年代のアルミ製錬事業からの撤退以降、新地金の供給は全量を輸入に頼っている<sup>4)</sup>。アルミは自動車、鉄道車両、航空機、船舶等の輸送機器をはじめ、建築物、電子機器等に使用されており、アルミスクラップはアルミ資源を保有しない我が国にとって貴重な国内資源である。アルミは製錬に多大なエネルギーを要し、再溶解エネルギーはその約3%で済むことから、アルミリサイクルが積極的に行われている。

また、再生地金と新地金で製造されている鋳物やダイカスト品の品質に差がないことから、圧延業や自動車産業において製品を製造する際に工程内で発生する屑やドロス、建材やアルミニウム缶及び自動車や船舶から解体され、全体の3割程度<sup>5)</sup>がアルミ二次合金地金となっている。しかし、これらリサイクルもそれを取巻く環境の変化により新しい局面を迎えている。前述したように地球温暖化、鉱物資源枯渇、国際情勢等による資源価格高騰により、アルミの安定した供給が困難になる可能性がある。これらアルミだけではなく、他の金属スクラップ等の国内資源確保として船舶が着目されている。船舶には、自動車輸送用船舶、液化天然ガス(LNG)運搬船、アルミ船舶(漁船)等があり、LNG運搬船は大型タンクにLNGを積載し、運搬するタンカーである。タンクの形式は主にモス方式とメンブレン方式の2種類があり、現在までに日本で建造されたLNG運搬はモス方式のものが多く、アルミ合金の独立球形タンクからなっている。145000 m<sup>3</sup>型LNG船の場合、直

\* 室蘭工業大学 大学院工学研究科

径約 40 m のタンク 4 個から構成されている。この場合、アルミ使用量は 1 隻あたり約 3200 トンとなる。

本稿では、船舶解体における低コストを目指した解体手順の効率化、工程管理の改善による安全化及び新技術の開発による環境改善について述べる。

## 2. 船舶解体の動向

現在、船舶の解体はバングラデシュ等の発展途上国を中心として行われている。これら地域における船舶解体では、砂浜に船舶を座礁させて、干潮時にガス切断等を使用して人手で解体する方法（ビーチング方式）が主に採用されている。途上国での船舶解体風景を図 1 に示す。途上国では、低人件費を武器に、コスト的に有利なこのような解体方法を実施している。しかしながら、作業時の安全確保や周辺環境への保全のための必要な措置が十分なされておらず、死亡事故の多発、周辺の海洋汚染が世界的な問題となっている。これらの問題を解決するため、先進国で発生した廃棄物は先進国内で処理すべきという思想を基礎として有害廃棄物の越境移動を原則禁止するものであるバーゼル条約がある。この思想を基に欧州では、自国船を自国内でリサイクルすべきとの考え方が台頭する動きを見せており、英国において、自国内に停泊していた外国船を同条約違反容疑で拘留する事案が発生した。2009 年に IMO で採択されたシップリサイクル条約により、船舶の解体・リサイクルに関する世界統一ルールが規定されたものの、欧州におけるこのような環境指向は、同条約発効後も続く判断される。

一方、陸上分野では、廃棄された携帯電話などからレアメタルを回収する等、リサイクル産業がグリーン資源産業として注目され始めている。過去には日本でも船舶解体を盛んに行っていた時代もあったが、コスト増大で撤退を余儀なくされ、現在は、そのほとんどが途上国に移っている。しかし、前述のような自国発生廃棄物を自国内で処



図 1 発展途上国での船舶解体

理するという環境指向の流れを踏まえ、今後、国内における船舶リサイクル産業の一層の高度化を推進する必要がある。

日本は、世界有数の造船（シェア 25%）・海運（シェア 15%）国として、シップリサイクル条約の制定に向けて積極的に取り組んでおり、条約発効後においても、先進国型の船舶リサイクルシステムの構築を推進する責務がある<sup>6)</sup>。日本での船舶解体・リサイクルを実施するためには、高い安全・環境基準を満たしつつ、解体にかかるコストを最小化し、国際的な産業競争力を確保したシステムを構築する必要がある。そのためには、既存施設を最大限有効に活用した効率的な解体手順を確立しなければならない。

## 2. 船舶解体実証実験

シップリサイクル条約に向けた船舶解体事業化マニュアルの整備を目的として、NPO 法人シップリサイクル室蘭では、シップリ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、スクラップの輸送、炉への挿入までの一連の工程として捉え、室蘭地域の既存施設を活用した、モデル船舶の解体実験を行った<sup>7)</sup>。

解体される自動車搬送船を図 2 に示す。船舶解体手法には、ドック内で解体を行うドッグ方式、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方式があ

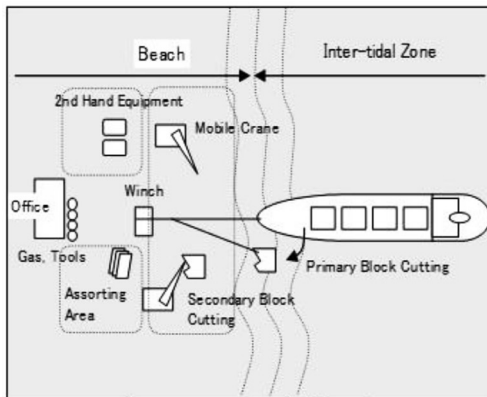


図2 解体した自動車搬送船

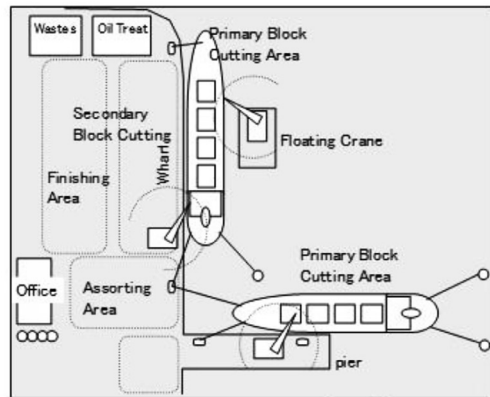
る。船舶リサイクルの主要4方式を図3に示す。解体は既存の港湾施設を使用し、大規模な設備を必要としないアフロート方式を採用し、①燃料・

オイル類の除去、②上部居住区の撤去、③上部甲板の解体、④エンジン部、船首下層、船体下層中央部の解体という一連の手順で解体を進めた<sup>8)</sup>。

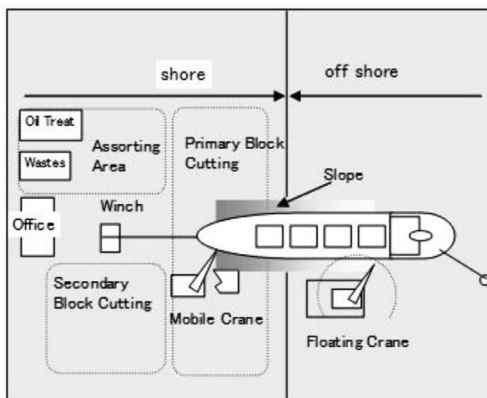
上部居住区には木材や断熱材が使用されており、セイバーソー等を利用し断熱材への引火対策を施した方法を採用し、発生する廃棄物は自治体の定める法令に従い、一般廃棄物、産業廃棄物等に分別し適切な処理を行った。解体初期から後期までの経過写真を図4に示す。作業の効率化を図る上で解体に関わるいくつかの技法が用いられた。従来の解体作業では甲板を一層切断するごとに、クレーンにより陸揚げを行っていたが、今回用いられた三層切断法では、あらかじめ三層分の甲板に自動ガス切断機を用いて分割用の切れ目（ミシン目）を入れ、クローラークレーンにて一度に陸揚



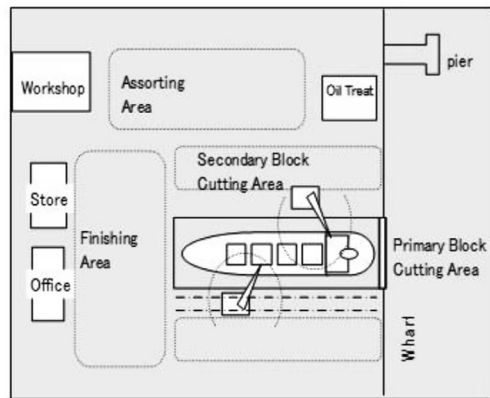
ビーチング方式



アフロート方式



ランディング方式



ドライ(ドック)方式

図3 船舶リサイクルの主要4方式



図4 解体初期から後期までの経過写真

げを行うことにより、安全性の確保と作業速度の向上を両立させた。各ブロックの大きさは20トン程度であり、陸上にて輸送可能なサイズ（トラックサイズ）に裁断している。解体時の写真を図5に示す。

### 3. 船舶解体実証実験の結果

船舶に使用される鉄・非鉄スクラップは、非常に良質であることから、廃船から採取した鉄・非鉄スクラップの行方が焦点となっている。一般的に船舶は、船級協会規格（日本国内では広く使用されている日本海事協会規格（NK））や日本工業規格（JIS）があり、船舶の構造材として用いるのに最も適した規格を決め、その材料を造船時に使用するよう取り決められている。鋼材規格及びアルミ合金の規格を表1に示す。この材料は一般的な構造材料と比較して、不純物元素の含有量が少なく、非常に質の高い材料として知られる<sup>9)</sup>。自動車用の鋼材などは、近年の低燃費化による、

自動車部品の軽量化と高強度化が進むことによって、高張力鋼などが多用されている。性能を上げるために、合金成分として意図的に添加されているものがスクラップ中に微量元素として残留する。船齢の古い船舶の造船当時は、これら合金元素の添加量が少ない高品質な鋼材を多く使用している。現在解体を迎える船舶は造船時が20年以上前と古く、解体から得られる鉄スクラップは、厳密に管理された鋼材であり高品質のスクラップ資源として有望視されている。アルミ合金については、2次合金用途として使用可能である。

### 4. 安全管理

解体作業を進めるにあたり、安全対策に注意を払う必要がある。各種安全措施を行い、災害発生時及び環境汚染時に対応するため、安全対策計画を作成し、1ヶ所に必ず2名以上の作業者を配置し、現場事務所ではボードを設置し作業箇所及び安全状況の確認を行った。解体担当作業者は、船



(a) クレーンによる甲板の運搬



(b) 陸上での裁断

図5 船舶解体時の様子

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の20人に抑えられ、これらの技術を次の事業へ展開する際に不可欠な知見となる技術の伝承も進めた。

## 5. 新技術開発

船舶のような大型構造物の解体では、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等の環境負荷も問題となるため、ガス溶断に変わる新たな手法が求められている。本実験では、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きた。開発を進めたウォータージェット切断装置を図6に示す。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

表1 船舶に使用される材料の規格

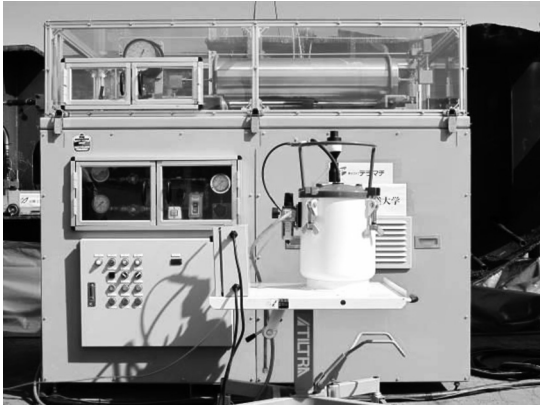
(a) 日本海事協会規格 (NK) における船舶鋼材規格

区分	規格	機械的性質			化学成分(%)					
		降伏点 又は耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	C	Si	Mn	P	S	C+Mn/6 又は 炭素当量
軟鋼	KA	235以上	400~520	22以上	0.21以下	0.50以下	2.5×C以上	0.035以下	0.035以下	0.40以下
高張力鋼	KA36	355以上	490~620	21以上	0.18以下	0.50以下	0.90~1.60	0.035以下	0.035以下	0.38以下 (炭素当量)

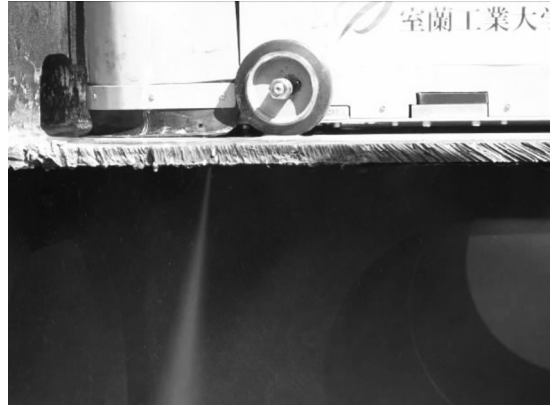
(b) 日本工業規格 (JIS) における船舶用アルミ合金規格

(mass%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
5052	≦0.25	≦0.4	≦0.1	≦0.1	2.2~2.8	0.15~0.35	≦0.1	—	残部
5083	≦0.4	≦0.4	≦0.1	0.4~1.0	4.0~4.9	0.05~0.25	≦0.25	≦0.15	
6061	0.4~0.8	≦0.7	0.15~0.4	≦0.15	0.8~1.2	0.04~0.35	≦0.25	≦0.15	
6063	0.2~0.6	≦0.37	≦0.1	≦0.1	0.45~0.9	≦0.1	≦0.1	≦0.1	



(a) ウォータージェット切断装置外観



(b) ウォータージェット切断装置での甲板切断

図6 ウォータージェット切断装置



(a) 甲板解体試験



(b) 船舶解体実験

図7 建設機械による実証実験

う手法である。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まれる。また、噴出圧力の調整により、塗装の除去作業等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、作業効率が向上する。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 30 mm 以上となる船体切断をする能力が十分ではなく、切断速度も遅い。そこで、サーボモーターで加圧するウォータージェット装置を開発し、圧力は従来の 300 MPa としたまま、吐水量、砥粒の形状を変更させ 4 倍以上の切断速度を出せることに成功した。また、シッパーサイクルを国内で行う上で重要な課題が解体コストの低減である。インドやバングラデシュの船舶解体は、安い賃金

で大量の労働者を雇い、進められている。日本国内では労働者の高い賃金が問題であり、コストを下げるのが重要である。

解体には、建設機械を用いた機械切断を活用し、作業人数を少なくすることで人件費を抑え、建設機械による作業効率が向上することにより、短期間で解体することが可能となる。建設機械による切断の課題は切断刃が短期間で損耗し、切断能力が低下する。切断能力の低下は、解体作業効率の低下を意味する。今回、切断刃に使用する耐摩耗性に優れた材料を開発し、実証実験を行なった。解体試験及び実機試験の写真を図7に示す。その結果、新規開発した切断刃が従来の切断刃と比較して耐摩耗性に優れていることが判明し、今後の

活用について検討されている。

これら新技術の開発は、日本国内でサプライサイクルを事業化する際に海外に対抗する技術として高く評価されている。

## 5. まとめ

省エネルギー化、金属資源の枯渇や国際情勢による価格変動等、多くの問題が起こる可能性がある。

今回、締結される国際条約に合わせ、環境に配慮した先進国型のサプライサイクルシステム構築への取組みを紹介した。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、安定した鉄・非鉄金属スクラップの供給、雇用の創出や地元経済の活性化が期待できる。事業を行うに当たり、技術面だけで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ため、サプライサイクルシンポジウムを室蘭にて開

催することにより、その必要性を訴えている。近い将来に産学官連携により、確立した事業化モデルを全国的に展開し、先進国型サプライ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。

## 参考文献

- 1) 国連人口計画
- 2) IEA, World Energy Outlook
- 3) 原田幸明, 島田正典, 井島清: 日本金属学会誌 71 (2007) 831.
- 4) World Bureau Metals Data base: World Bureau of statistics aluminium.
- 5) JOGMEC データベース; 鉱物資源マテリアルフロー
- 6) 清水一道: 日本マリンエンジニアリング学会誌 45 (2010) 85.
- 7) 室蘭サプライサイクル研究会: 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(2010).
- 8) 清水一道: 海事交通研究年報 60 (2011) 45.
- 9) 室蘭サプライサイクル研究会: 先進国型サプライサイクルシステムの構築 室蘭サプライサイクルプロジェクトの軌跡(2012)