

北海道における鉄鋼業の歩み¹

片山 博²

Progress of Iron and Steel Making in Hokkaido

Hiroshi KATAYAMA

Muroran Institute of Technology

Abstract

The progresses of iron and steel making in Hokkaido were reviewed. The main contents are as follows: Tataru ironmaking and Kobui blast furnace on the Oshima peninsula, the establishment of Wanishi Ironworks and Japan Steel Works by Kakugoro Inoue, the construction and closing of several small ironworks under the World War I, the development of iron and steel industries from the beginning of Showa era to the end of the World War II, their depression and reconstruction after the end of the war, Toyohira Steelmaking Co., the Muroran Steel Works of Fuji Steel Corp., the Muroran Works of Japan Steel Works, Hokkaido Iron Sand Steelmaking Co., New Nippon Steel Corp., Shimizu Steel Co., Hokkai Steel Works, Hokkai Iron and Coke Corp, Mitsubishi Muroran Inc., and so on.

Key words: Kobui blast furnace, Japan Steel Works, Nippon Steel Corp., Toyohira Steelmaking Co.

1. はじめに

蝦夷地は日本古来の「たたら製鉄」の歴史から見れば後進地である。しかし洋式製鉄となると意外にも先進地なのである。本報告では、江戸期末に渡島半島南東部に建設・操業した「たたら製鉄」や古武井高炉、ついで明治末に北炭の井上角五郎が設立した輪西製鉄所および日本製鋼所の今日までの歩み、第一次および第二次世界大戦下での多くの中小鉄鋼企業の設立・興亡などについて概述する。

2. 江戸時代末まで

日本の九州・中国地方に大陸(朝鮮半島)から製鉄技術

蝦夷地では康正2年(1456年)に渡島国亀田郡鍛冶村に於て伝えられたのは5~6世紀とされている。その技術は次第に東方に伝播し、東北北部では9世紀ごろ岩木山山麓で製鉄が始まっている¹⁾。

おいて大森浜の砂鉄から刀剣を作ったとの記述が最も古い²⁾。時代は下って、「志苔の砂鉄、貞享(1684~88年)の頃、近江の商人西川庄右衛門が出願し、1、2年営業した。正徳年中(1711~16年)同じく近江の商甲屋兵七が再び出願し許可されたが、収支償わず、幾ばくもなくして廃止した」との記録がある³⁾。

江戸時代末に至ると、箱館奉行所始め、箱館商人がこの地の砂鉄を用いて、相次いで製鉄事業を起こした。それらの製鉄所については天野が集録しているが⁴⁾、他の文献調査も行い以下に概述する。

2.1 古武井溶鉱炉

大橋周治は、古武井溶鉱炉(以下、高炉という)を次のように紹介している^{5,6)}。すなわち、「幕末、北辺の蝦夷地でも洋式によって製鉄業が試みられている。時期は鹿

1. 平成21年6月11日 本会第122回例会において発表
2. 室蘭工業大学名誉教授
平成21年2月24日受理

児島、釜石とほぼ同じく安政3年(1856年)から文久3年(1863年)の間で、維新前に洋式高炉が建設・操業された三例の一つをなす」と。

大橋の他にも、古武井高炉についての多くの研究報告が公表されている⁷⁻¹⁷⁾。研究者により多少内容が異なるが、取りあえずその概要をまとめると次のようである。

箱館奉行は、渡島半島南東部に多量に産出する砂鉄の利用を図り、蘭学者・武田斐三郎に洋式製鉄事業の設計・実施を命じた。武田は早速敷地を亀田郡古武井(現在の函館市恵山町高岱)と決定し、安政3年(1856年)8月ごろ建設に着手した。着工は釜石大橋高炉より約半年以上も早い、完成は釜石高炉(安政4年12月に操業開始)より遅れて安政5年(1858年)、あるいは6年で操業も失敗であった¹²⁾。その後、炉体などの手直しを行い、文久元年(1861年)9月再度火入れし、200~300ポンド(90~140kg)の銑鉄を製造した。しかし、間もなく操業不能に陥り中止した。そして文久3年6月14日の暴風により高炉が大破し、その修復が困難と判断し放棄された。

以上の再火入れ説に対して、阿部たつを⁹⁾は万延元年から文久2年6月の間に一回火入れしたのみで、再火入れは行われなかったと主張している。また、岡田広吉¹⁷⁾は古武井高炉の技術評価を行い、鋳鉄の遺存が僅かしか認められないのは異様であり、恐らく一回の操業で中断したとしている。そして、その操業失敗の理由として、R.Pumpellyが指摘した送風量の不足とレンガの低耐火性をあげ¹²⁾、さらに開拓使雇の米人技師ブレイクの報文を引用している¹⁸⁾。

2.2 冷水沢仮溶鋳炉

この製鉄炉については、古武井高炉との関連から比較的多くの研究報告があり^{5-14)、16)、17)、19)}、標記のほかに冷水沢砂鉄吹立所、女那川仮溶鋳炉、尻岸内仮溶鋳炉などとも呼ばれている。安政2年(1855年)ごろ古武井高炉に先立ち、箱館弁天町松右衛門により建設されたとされている。ただし、炉の形式については研究者により見解が異なり、「たたら」説¹⁹⁾、洋式高炉説¹²⁾、「たたら」から洋式高炉への改造説^{13)、14)}の3説に分かれる。大橋周治⁵⁾は炉の跡を現地調査し、敷地が狭隘な谷間で、炉の基盤、水車場、水路などの跡が見られないことから洋式高炉説に疑問を呈し、さらに開拓使雇米人技師ライマンの報告書¹⁸⁾に基づき「たたら」であるとしている。

2.3 鉄山たたら

この製鉄炉については、函館の郷土史家・会田金吾が報告している²⁰⁾。同氏は、道立図書館在庫の「斎藤三平小伝」や昭和57年5月14日付北海道新聞(夕刊)で紹介された「三平日記抄」の内容から、斎藤三平がこの製鉄炉を経営し、さらに茅部鉄山などや高炉製錬への進出も計画していたとしている。また、会田は古老の聞き取

り調査や鉄山町の現地調査も行い、ノロの存在を確認している。

2.4 中の沢たたら

この製鉄炉については古文書などの史料が全くなく、会田金吾のみが報告している^{21)、22)}。同氏は昭和57年7月4日、地元の人々の案内で炉跡とされる付近を発掘し、その発掘物が日立金属の和鋼記念館などによりTiO₂を含む鉄滓と判定された。さらに間接的な史料に基づき、経営者は箱館大町町の五十嵐要輔で、操業開始は五十嵐要輔の入植後の万延元年(1860年)から文久元年(1861年)の間と推測している。

2.5 赤川溶鋳炉

この製鉄炉については、箱館大学の白山友正元教授が報告している²³⁾。その唯一の史料は内閣文庫所蔵、外務省記の箱館御用留(元治元年甲子十一月至明治元年戊辰二月)であり、その中に「既ニ箱館近在赤川村へ去戊辰(文久二年)中、商人共自分入用ヲ以築立候熔炉モ出来居候ヘトモ是又同様(注、古武井溶鋳炉)十分吹立行届不申程ノ義ニテ・・・」とある。白山元教授は、この製鉄炉を箱館大町町代五十嵐要輔が建設した溶鋳炉と見なしているが疑問である。

2.6 奥津内打鉄炉

この製鉄炉については、明治6年(1873年)の「ライマン地質測量初期報文」¹⁸⁾と明治5年の開拓使日誌第七号「アンテセル氏製鉄ノ儀建言写」²⁴⁾にかなり詳細な記述がある。それらの内容から、奥津内打鉄炉は「たたら」と見なすことができる。

奥津内打鉄炉の経営者は、佐藤某といい、千両箱を積んでこの事業を行ったと伝えられている。しかし実際に稼動したのは6、7年に過ぎない。その史跡所在地は昭和46年春、八雲町文化財調査委員によって調査され、鉄山丘陵の東側先端麓に近い傾斜地(現、八雲町字浜松439)であると確認された²⁵⁾。

3. 明治から大正まで

3.1 輪西製鉄所の創業

北海道の近代製鉄・製鋼の創業には、井上角五郎の功績が大きい²⁾、^{26)、27)}。彼は明治33年(1900年)末、北海道炭鉄道の専務取締役役に就任すると、噴火湾沿岸一帯に産出する砂鉄の利用を目指して製鉄業を企画した。折り良く、自社が開設した鉄道が明治39年(1906年)国によって買い上げられ資金が入ったので、社名を北海道炭鉄汽船(株)と改称し、明治40年4月輪西製鉄場50t高炉の建設に着手した。そして明治42年(1909年)7月21日火入れを行ったが、今日、この日が室蘭製鉄所の創業記念日とされている。しかし初出鉄はみたものの砂鉄を主原料としたため送風などに支障をきたし、2ヶ月後

に操業を中止した。その後、大正2年(1913年)12月、三井鉱山の資金援助を受け、輪西製鉄所と改称し、主原料を砂鉄から鉄鉱石に切り換えて50t高炉の操業を再開した。大正3年第一次世界大戦勃発により鉄鋼増産が急務となるに及んで、大正6年(1917年)2月三井鉱山との合同出資により、資本金300万円で北海道製鉄(株)が設立され、同年6月第2高炉(120t)、翌年6月第3高炉(130t)が相次いで火入れされた。

3.2 日本製鋼所の創業

その一方で井上角五郎は、海軍省から製鉄業よりもむしろ製鋼業および兵器産業を興すよう要望された^{26,27)}。そこで、明治40年(1907年)11月、英国アームストロング社およびピッカーズ社との合併により室蘭茶津の地に日本製鋼所を設立し、呉鎮守府司令長官・山内万寿治海軍中將を現職のまま顧問に迎え、井上自身は取締役会長に就任した。明治44年(1911年)1月には50t平炉が操業を開始し、大正4年(1915年)12月、全国展開を目指して本店を室蘭から東京に移した。当初の資本金は1000万円で、明治42年には1500万円に増資した。当時前後して設立された神戸製鋼所の資本金は140万円、日本鋼管のそれは200万円に過ぎず、したがって日本製鋼所は民間企業としては遥かに大規模で、50t平炉2基、4000tプレスを備えるなど、官営八幡製鉄所に次ぐ大鉄鋼会社になったのである。大正7年(1918年)8月には室蘭茶津の丘に鍛刀所を設け、刀匠として水心子正秀の流れを伝える堀井胤明および養子秀明(後年、俊秀と改名)を招いた。

3.3 小規模製鉄所の設立と閉鎖

第一次世界大戦は鉄鋼業界に一時的に好況をもたらした。そのため大正7年相前後して道内各地に小規模の製鉄所が設立された²⁾。まず、同年11月江別製鉄所(20t高炉、別名:石狩製鉄所)が操業開始²⁹⁾、また9月には登別製鉄所(20t高炉)が設立され、翌年4月操業を開始した³⁰⁾。ついで大正7年10月に苫小牧の佐藤製鉄所(3t高炉)³¹⁾、12月壮瞥村の久保内製鉄所³²⁾、さらに森製鉄所(3t高炉、操業開始月は不詳)²⁸⁾が設立、稼動した。しかし大正7年11月11日終戦となると、一転して銑鉄の価格が暴落し、各社とも経営難に陥り1~3年後に閉鎖した。

3.4 日本製鋼所の北海道製鉄の併合と輪西製鉄組合

第一次世界大戦後の鉄鋼業不況は日本製鋼所、北海道製鉄とて例外ではなかった。両社はその打開策として経営の合理化と銑鋼一貫体制の確立を目指して大正8年(1919年)12月合併し、その結果、北海道製鉄は日本製鋼所室蘭工業所製鉄部となった²⁸⁾。北海道製鉄の合併時の製銑能力は高炉3基(日産85t、120t、130t)を有し、当時民間製鉄業中第一位を占めていた。日本製鋼所は合併に際して倍額増資し資本金を3000万円としたが、増資分の全額を北海道製鉄側に割り当てたので、英国側の株式保

有率はそれまでの50%から一気に25%に減少し、一方北炭・三井系列側の株式保有率は75%に上昇した。

大正10年(1921年)のワシントン国際軍縮会議の結果、日本製鋼所は極度に経営不振に陥り、人員整理が大正末まで数次にわたって行われた²⁸⁾。また、銑鋼一貫体制の確立を目的とした北海道製鉄との合併であったが、原料鉄鉱石の品質が劣悪のため、得られる銑鉄も兵器用鋼材の原料としては不適當であった。そこで外販にまわすことにしたが、銑鉄価格の暴落によりますます経営を悪化させた。ここに至って、日本製鋼所は製鉄部門を切り離し、三井鉱山および北炭との3社による輪西製鉄組合で経営することとし、大正13年(1924年)12月から実施された²⁸⁾。

4. 昭和初期から太平洋戦争終戦まで

4.1 輪西製鉄の独立、日本製鉄への合同と仲町工場建設

昭和2年(1927年)に金融恐慌が起こり、また外国銑の輸入攻勢により国内鉄鋼業界は減産に追い込まれ、輪西でも高炉1基のみの生産に陥った。そこで日本製鋼所は高炉を自社で所有するよりも安価な外国銑を使用する方が有利と判断し、ついに昭和6年(1931年)4月、製鉄および採鉱部門を分離して輪西製鉄(株)を設立した²⁸⁾。また、翌年2月には輪西製鉄組合が満期日となり解散した。

昭和6年9月18日満州事変が勃発し、以後昭和20年8月の太平洋戦争終戦まで約15年間軍需産業時代となり、とりわけ鉄鋼業が活況を呈した。昭和9年2月八幡製鉄所など1所6社が合同し、日本製鉄(株)が設立された。輪西製鉄もその合同に参加し日本製鉄輪西製鉄所となった²⁸⁾。日本製鉄は昭和12年(1937年)4月仲町工場の建設に着手し、昭和14年12月仲町第1高炉(700t)、仲町第1コークス炉(660t)が火入れされた。以後、昭和18年にかけて高炉3基、コークス炉3基、製鋼工場塩基性平炉5基(各150t)、分塊工場、線材工場、副産物工場、その他が建設され操業を開始した。銑鉄生産量は満州事変以降戦時色が濃くなるとともに増大し、さらに仲町新高炉の稼動により昭和17年には65万トン余に達したが、その後は戦局の悪化により強粘結性の中国炭や鉄鉱石の輸入が困難となり生産量が減少した。

4.2 日本製鋼所の展開

日本製鋼所室蘭工場においても、鉄鋼製品の生産量は満州事変が勃発した昭和6年以降増加し、とくに昭和15年1万トン大型水圧鍛錬機の設置、16年の海軍特殊圧延鋼板工場の完成などによって一段と増加した²⁸⁾。太平洋戦争中は海軍、陸軍への兵器納入額が全売上高の8~9割を占めた。

4.3 戦時下における中小鉄鋼会社の設立

軍需好況下において、いくつかの企業が鉄鋼業に進出

し、あるいは新規の中小鉄鋼会社が設立された³³⁻³⁷⁾。

昭和12年に昭和製鉄(株)が東大沼の中野部落(現、亀田郡七飯町字中野)に大沼製鉄所(10t高炉)を建設したが³³⁾、昭和13年12月東京製鉄(株)の経営となり、昭和15年12月その高炉を久根別駅前(上磯郡上磯町字東浜343)に移設した。その後、昭和17年に大阪造船(株)に吸収・合併され、25t高炉と熱風炉などが増設されたが、太平洋戦争終戦後閉鎖された³³⁾。

昭和12年には札幌市豊平に野口製鋼所も設立され、14年8月に2t電気炉で製鋼を開始し、17年3月に豊平製鋼所と改称した³⁴⁾。

昭和16年札幌市の佐々木某氏が有珠郡壮瞥町字滝之町に製鉄所を建設し、20年10月まで操業した³²⁾。しかし経営難に陥り、北海道工業(株)に譲渡した。

以上のほか、日本電気冶金栗山工場³⁵⁾、東邦電化日高工場³⁶⁾、鉄興社余市工場、三菱美唄、大同製鋼石狩工場などのフェロアロイ工場³⁷⁾も操業していた。

5. 戦後の復興期

戦時中の軍需好況下から一転して、終戦後は道内の鉄鋼生産量が激減し、昭和21年度の生産量は昭和18年度の5%にも満たない状態となった。さらに昭和21年9月から実施された八幡製鉄所集中生産方式により、日鉄輪西製鉄所の高炉が一時全て操業を停止するという異常事態も起こった³⁷⁾。

このような状況下において、戦時中銑鉄を生産していた大阪造船函館製鉄所や三菱美唄、大同製鋼石狩工場などのフェロアロイ製造所は昭和22年までに閉鎖あるいは休止するに至った³⁷⁾。

5.1 民需品鉄鋼会社の展開

その一方で、いち早く再生に向けて立ち上がった企業もあった。豊平製鋼所³⁴⁾は生産品目を軍需品から民需品へ速やかに切り換え、終戦直後の昭和20年10月に日鋼室蘭製鋼所から製鋼、鑄鋼技術者を10数名採用した。また、資本金500万円で(株)豊平製鋼所を設立し、昭和23年12月には新鑄鋼工場(3t電気炉1基、1t電気炉1基)の操業を開始した。

北海道工業(株)も民需会社として更生の名乗りを上げ、終戦後閉鎖されていた旧大湊海軍工作部虻田分工場(昭和18年設置)を譲り受け、同社虻田工場として整備した^{38,39)}。昭和21年8月火入れを行い、電気銑を中心に鑄鉄製品と耐火レンガの生産を開始した。また、札幌市の佐々木某氏から買収した壮瞥製鉄所³²⁾も昭和21年3月設備を更新し、電気溶鉱炉(1t)1基、カーバイド炉1基等を設置して銑鉄およびカーバイド等の製造を開始した。両工場発足時の従業員数は日鋼、日鉄の退職者300名とさ

れている。しかし経営は計画どおり順調に運ばず、昭和24年10月に銑鉄の生産を中止した^{38,39)}。

5.2 占領連合国の鉄鋼業政策と日本製鉄の分割

日本の鉄鋼業が戦後復興を進める上で大きな不安は、連合国の占領政策であった。すなわち、鉄鋼生産設備の賠償指定と国策会社や財閥系製鉄会社の解体などであった³⁷⁾。しかし米ソ関係が悪化し始めると、当初賠償工場に指定されていた日鉄輪西製鉄所と日鋼室蘭製作所が賠償指定を解除された。ただし、過度経済力集中排除法は日本製鉄に適用され、昭和25年4月八幡製鉄(株)と富士製鉄(株)に分割された。その結果、輪西製鉄所は高炉7基、平炉5基、分塊、条鋼、鋼板の各1工場を有する富士製鉄輪西製鉄所として再スタートし、26年4月には室蘭製鉄所と改称した³⁷⁾。

昭和25年6月朝鮮戦争が勃発した。その結果、皮肉にも米軍特需による好景気となり、鉄鋼業も業績が一挙に好転した。これを契機として日本鉄鋼業界は近代的技術・設備を導入して合理化を開始した。いわゆる第1次合理化計画である。

5.3 日本製鋼所の再スタートと長期労働争議

日本製鋼所は賠償工場の指定および過度経済力集中排除法の適用が早々に解除された。さらに企業再建整備法の適用を受けて、昭和25年12月第二会社として(株)日本製鋼所を設立し、旧会社を解散し再スタートした。その直後は朝鮮戦争の特需景気により順調であったが、昭和26年7月朝鮮戦争の休戦会談開始とともに特需は次第に減少し、遂には反動不況となり、室蘭製作所の鑄鍛鋼品、極厚鋼板の需要減退が著しくなった。その対応策として、29年6月室蘭製作所を中心とした人員合理化計画が提示された。これに対して室蘭製作所労働組合はその計画案の撤回闘争を開始し、実に197日に及ぶ長期労働争議となった。この争議の後半には新組合が結成され、それが同製作所労働組合の主導権を握るに至って、昭和29年12月ようやく解決した³⁷⁾。

5.4 豊平製鋼所の倒産と再生

豊平製鋼所も朝鮮戦争休戦後、特需景気反動のデフレ不況の嵐をまともに受けて業績が急速に悪化し、遂に昭和30年10月会社更生法の適用を受けて倒産した。その後、昭和32年10月札幌製作所に商号変更し第二会社・豊平製鋼(株)を設立した。さらに36年3月豊平製鋼が札幌製作所を吸収合併し、資本金1000万円で再スタートした³⁴⁾。

6. 昭和30年から48年ごろまでの発展期

6.1 富士製鉄室蘭製鉄所の設備増強と新日鉄の発足

戦後の復興をようやく果たした日本鉄鋼業は、昭和30年以降更なる発展に向けて第2次合理化計画の実施に着

手した。富士鉄室蘭製鉄所では32年の連続熱間圧延工場の稼働開始に始まって、44年ごろまでに第4高炉が火入れされ、転炉工場、連続鋳造設備、冷間圧延工場、棒線工場などが相次いで稼働した。また42年9月には平炉工場を閉鎖し製鋼の全転炉化を完了した。

昭和45年3月、富士鉄は八幡製鉄と合併し、巨大製鉄会社の新日本製鉄(株)として新生した。ここに室蘭製鉄所は新日鉄室蘭製鉄所として新たに歩み出した³⁷⁾。

6.2 日本製鋼所の設備増強

日鋼室蘭製作所は第2次合理化計画に基づき、昭和36年12月に100t電気炉、43年9月に120t電気炉を設置し、前後して各種加熱炉の重油燃料化、工作機械の近代化、圧延設備の新設を行った。さらに電気炉製鋼技術の改善と合せ湯鋳込み技術の開発により、昭和47年には500t大型鋼塊の鋳込みに成功した^{37)、40)}。

6.3 豊平製鋼の発寒工業団地への移転

豊平製鋼は昭和36年に新生スタート後、38年に資本金1億3千万円に増資し、発寒工業団地への移転を開始した。ついで川崎製鉄グループの資金援助・経営参加により昭和50年豊平工場の全部門を発寒工業団地に移転完了した。翌51年には50t電気炉を設置し、本社も札幌市西区発寒1040(現在、発寒10条13丁目1-1)に移転した³⁴⁾。

6.4 新規製鉄・鉄鋼業の進出

昭和30年代からの発展期には、道内でも新たに製鉄・製鋼業への進出があった。まず昭和32年2月に北海道砂鉄鋼業(株)伊達工場が資本金1億円で設立され、翌33年6月から電気製鉄炉による砂鉄製錬を開始した⁴¹⁾。当初は順調に操業していたが、36年下期以降経営難に陥り、遂に昭和40年5月操業を中止した。

昭和11年以来、小樽市で伸鉄業を営んできた北海鋼業は、富士製鉄の資本参加により昭和37年7月10t電気炉を新設し、製鋼・圧延一貫工場として新生スタートした。昭和40年、日綿実業の資本参加により同社の系列に入り、50年6月小樽市銭函工業団地に新製鋼工場を完成し、資本金も3億円に増資し発展を図った⁴²⁾。

苫小牧市は工業港の開港以来長年にわたり、工業用地への大手鉄鋼業の誘致運動を展開してきた。その運動がなかなか結実せず苦慮していたところ、幸いにも清水鋼鉄(株)が進出を決定した。昭和45年6月清水製鋼(株)苫小牧工場が資本金1億500万円で設立され、翌年7月からスクラップを原料とした電気炉製鋼を開始した⁴³⁾。

7. オイルショック後の大不況と再生

昭和48年10月、突然発生したオイルショックは、その後54年の第2次ショックもあって、日本の産業界に深

刻な不況をもたらし、鉄鋼生産も急速に停滞した³⁴⁾。昭和50年代は「鉄が泣いている」とまで言われた長い“冬の時代”で、“重厚長大より軽薄短小”なる流行語もできた。そのような中で川崎製鉄が純酸素底吹転炉法(Q-BOP)を技術導入し、昭和57年2月から2基の操業を開始したことは明るい話題であった。

7.1 新日鉄室蘭製鉄所の合理化と三菱製鋼の進出

長引く不況の中、新日鉄室蘭製鉄所は昭和57年11月に第1高炉、次いで60年8月に第4高炉を相次いで休止し、第2高炉1基のみの操業となった⁴⁴⁾。昭和62年2月、新日鉄は第4次合理化計画を発表したが、その骨子は次のように厳しいものであった⁴⁵⁾。①昭和63、64年度の2年間で室蘭製鉄所など5製鉄所の高炉5基を休止し、粗鋼生産を君津など4製鉄所に集約する。②室蘭製鉄所の連続熱延、冷延の両鋼板工場を休止する。③新たな製鋼技術である新溶解法を室蘭など3製鉄所で研究する。しかし、63年度に入ると国内の鉄鋼需要が増大してきたため、平成元年9月以降、室蘭製鉄所の高炉休止時期が繰り返し延長された。同年10月には三菱製鋼が室蘭製鉄所の遊休化している土地、工場の活用を目指して同構内に進出すると発表し、さらに平成3年12月、新日鉄は三菱製鋼との共同出資による別会社として高炉の存続を決定した⁴⁶⁾。かくして両社の共同出資により北海製鉄(株)と三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)が平成4年3月30日設立され、両社とも平成6年4月1日営業を開始した^{47)、48)}。なお、室蘭特殊鋼は当初北海製鉄から溶銑の供給を受け、直流100t電気炉により溶銑・スクラップ併用精錬を行っていたが、平成13年12月生産コスト低減のため電気炉製鋼を休止し、以後新日鉄室蘭製鉄所から溶鋼の供給を受け順調に各種圧延鋼材の生産を続行している⁴⁹⁾。

最近では中国など海外への鉄鋼輸出が好調で、日本の鉄鋼業全体が活況を呈しているが、日系自動車産業の好況も重なり、自動車用特殊鋼の生産を主体とする新日鉄室蘭製鉄所はフル生産に近い状況で推移している^{49)、50)}。そのため、更なる生産量の向上を目指して、休止中の電気炉を三菱製鋼室蘭特殊鋼から購入し、平成17年8月1日から営業生産を開始した⁵¹⁾。

7.2 日本製鋼所の合理化と再生

日本製鋼所も、昭和50年代以降経営が極端に悪化し苦難の道を歩んできた。室蘭製作所はその乗切り策として、相次いで分社化を進めてきた⁵²⁾。平成4年には120t電気炉のハイパワー化を実施し、前後して100t ESR溶解炉を導入し、鋳鍛鋼品等の生産スピードアップと高品質化を計ってきた。また、環境、医療・福祉関連の各種設備・機器や水素吸蔵合金を利用した各種装置の開発など新規事業を展開してきた。

最近では電力需要が盛んな中国や原発の延命化工事が進

む北米を中心に、発電用タービン向けのローターや原発用圧力容器部材などの発電用鍛鋼品の受注が多くなり、かつて無いほどの好況期を迎えている⁵³⁾。今後も受注増が見込まれることから、平成15年10月には長年室蘭製作所の看板設備として活躍した旧1万トンプレス機を解体・改修し、新しい自由鍛造プレス機を設置した⁵³⁾。この設備は国内最高の最大1万4千tのプレス能力を有し、大型の鍛鋼品の製造に威力を発揮すると期待される。

日鋼室蘭製作所は、大正7年に瑞泉鍛刀所を設けて以来、太平洋戦争終戦後の苦難時代や度重なる不況下にあっても、頑なに刀鍛冶の伝統を守り通してきた。当時は四代目の堀井胤匡刀匠で、精力的に作刀活動を続けてきている。また弟子の佐々木直彦氏(室蘭工大卒)は平成15年10月刀匠認定試験に合格し、胤匡刀匠から“胤成”の刀匠名を与えられた⁵⁴⁾。このように水心子正秀の刀鍛冶の伝統は、瑞泉鍛刀所において確実に受け継がれている。

7.3 電気炉製鋼会社の推移

豊平製鋼、北海鋼業および清水製鋼の道内電炉鉄鋼メーカー3社にとっても、昭和50年代は構造不況業種と呼ばれ長い苦難の時代であった。そのような状況下で、北海鋼業は昭和57年7月銭函工場集約工事を完了し、製鋼・圧延一貫体制を確立した⁴²⁾。また、清水製鋼は昭和58年10月清水鋼鉄と合併して清水鋼鉄(株)苫小牧製鋼所として再スタートし、昭和60年5月には製鋼・圧延一貫体制を確立した⁴³⁾。

昭和61年ごろから建設業界の好況により棒鋼市況が回復し、62年度決算では3社とも一斉に黒字転換した⁵⁵⁾。その後も、豊平製鋼は平成4年3月資本金を11億6千万円に増資し³⁴⁾、また清水鋼鉄苫小牧製鋼所も平成8年6月、直流式60t電気炉と連続鑄造設備を完成し⁴³⁾、共に順調に発展してきた。これに対して、北海鋼業は業績が悪化し新日鉄グループの援助を受けることとなった⁴²⁾。平成11年4月に新北海鋼業(株)が資本金4億9千万円で設立され、旧北海鋼業の資産を受け継いで営業を開始し、業績を回復している。

8. おわりに

北海道における製鉄・製鋼業の歩みをまとめた。紙面の制約上、説明を省略した箇所が多いが、何らかの参考になれば幸いである。

References

1. Y.Anazawa:135th Meeting of ISIJ, Tetsu-no Rekishi Symposium, p.1 (1998)
2. T.Tanaka:*Muroran Seitetsu-syo 50 Nen-shi*, Fuji Steel

Corp., Muroran Works (1958)

3. *Shinsen Hokkaido-shi*, 2, *Tsusetu* 1, p. 130, p. 780 (1937)
4. T.Amano: *Senshigaku-to Kanrenkagaku*, p. 283 (1993)
5. S.Ohashi: *Kinzoku*, 37, p.57 (1968)
6. S.Ohashi: *Bakumatsu Meiji Seitetsu-shi*, Agune, p.164 (1975)
7. T.Abe: *Hakodate Kyodo Techo*, Muhutaisya, p.91 (1957)
8. T.Abe: *Hakodate Kyodo Techo*, Muhutaisya, p.92 (1958)
9. T.Abe: *Hokkaido Chiho-shi Kenkyu*, No.59, p.1 (1966)
10. T.Abe: *Hokkaido Chiho-shi Kenkyu*, No.60, p.9 (1966)
11. T.Abe: *Hakodate Kyodo-shi Zuihitsu*, p.212 (1973)
12. Y.Takagi: *J.Soc.Liberal Arts, Hokkaido Univ.Educ. Hakodate*, No.27, p.1 (1967)
13. T.Shiryama: *Hokkaido Keizai-shi Kenkyu*, No.20, p.1 (1966)
14. T.Shiryama:*Takeda Ayasaburo-den*, Hokkaido Keizai-shi Kenkyu-sho, p. 66 (1971)
15. S.Takeuchi and S.Yoshizaki: *Hokkaido-no Bunka*, No.16, p.1 (1969)
16. *Shirikishinaicho-shi*, p. 300 (1970)
17. K.Okada: 1981 Autumn Joint Meeting of Underground Resources Institutes, Sectional Meeting Data [Q], MMIJ, p. 5 (1981)
18. *Shinsen Hokkaido-shi*, 6, *Shiryu* 2, p. 44, p. 131 (1936)
19. T.Abe: *Donan-no Rekishi*, No.52, p. 1 (1971)
20. K.Aida: *Hokkaido-no Bunka*, No.47, p. 40 (1982)
21. K.Aida: *Hakodate—Shizen-to Bunka*, No.8, p. 82 (1977)
22. K.Aida: *Hokkaido-no Bunka*, No.39, p. 42 (1978)
23. T.Shiryama: *Hokkaido Keizai-shi Kenkyu*, No.23, p. 1 (1966)
24. *Shin Hokkaido-shi*, 7, *Shiryu* 1, p. 847 (1969)
25. *Kaitei Yakumochi-shi, Jokan*, p. 776 (1984)
26. *Shin Hokkaido-shi*, 4, *Tsusetu* 3, p. 897 (1973)
27. *Nihon Seiko-syo Sya-shi Shiryu, Jokan, Gekan*, Japan Steel Works (1968)
28. *Shin Hokkaido-shi*, 5, *Tsusetu* 4, p. 263, p. 1032 (1975)
29. *Ebetsushi-shi, Gekan*, p. 331 (1970)
30. *Shi-shi Furusato Noboribetsu, Jokan*, p. 453 (1985)
31. *Tomakomaishi-shi, Jokan*, p. 1829 (1975)
32. *Sobetsucho-shi*, p. 823 (1979)
33. *Hakodateshi-shi, Tsusetu* 3, p. 1163 (1997)
34. *Toyohira Seiko Hanseiki-no Ayumi*, Toyohira Steelmaking Co., (1993)
35. *Kuriyamacho-shi*, 1, p. 740 (1989)
36. *Kaitei Samanicho-shi*, p. 399 (1992)
37. *Shin Hokkaido-shi*, 6, *Tsusetu* 5, p. 300, p. 854 (1977)
38. *Abutacho-shi*, p. 758 (1962)

39. *Monogatari Abutacho-shi*, **4**, p. 360 (1986)
40. *Nihon Seiko-sho Sya-shi Shiryō, Zokkan—Saikin 25 Nen-no Ayumi*, Japan Steel Works (1978)
41. *Shinko Datecho-shi, Jōkan*, p. 809 (1972)
42. Information Booklet of New Hokkai Steel Works, (1999)
43. *Tomakomaishi-shi, Tsuihōhen*, p. 540 (2001)
44. Information Booklet of Murooran Steel Works of Nippon Steel Corp., (2002)
45. Hokkaido Shimbun, Feb. 13th 1987
46. Hokkaido Shimbun, Dec. 10th 1991
47. Information Booklet of Hokkai Iron and Coke Corp. (2003)
48. Information Booklet of Mitsubishi Murooran Inc., (2000)
49. Murooran Minpo, Apr. 23rd 2003
50. Hokkaido Shimbun, Apr. 24th 2003
51. Hokkaido Shimbun, Jul. 30th 2005; 8.2
52. Information Booklet of Murooran Works of Japan Steel Works (2003)
53. Hokkaido Shimbun, Oct. 17th 2003
54. Hokkaido Shimbun, Jan. 22nd 2004
55. Hokkaido Shimbun, Feb. 26th 1988

北海道 PCB 廃棄物処理施設¹

油井 理²

Hokkaido PCB Waste Treatment Facility

Makoto YUI

Hokkaido Office, Japan Environmental Safety Corporation

Abstract

Japan Environment Safety Corporation (JESCO) is the sole national agency (special company wholly owned by the government) in charge of the treatment of PCB waste, which is regarded as a matter of urgency. Under the guidance of the government, JESCO develops core treatment facilities for PCB waste in 5 locations throughout Japan, and implements treatment programme. Hokkaido PCB Waste Treatment Facility started operation on the safeness and assuredness in May, 2008.

Key words : PCB, Safety design , Fail-safe Function , Safety nets , Dechlorination

1. はじめに

有害物質である PCB (ポリ塩化ビフェニル) は、昭和 49 年に法に基づき、製造や新たな使用が禁止されて以来、PCB を含む廃棄物が長期にわたり処分されていない状況を踏まえて、平成 13 年 7 月に、PCB 特別措置法 (ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法) が施行され、PCB 廃棄物の保管事業者は、平成 28 年 7 月までに処理することが義務づけられた。

日本環境安全事業株式会社(JESCO)では、国の監督と施設立地自治体の指導・監督のもと、全国 5 ヶ所に処理施設を設置し、全国に保管されている PCB 廃棄物の処理を行う計画であり、これまで、北九州、豊田、東京、大阪の各施設で処理を開始しており、これらに続く 5 番目の施設が北海道 PCB 廃棄物処理施設である。

当施設は、平成 15 年 2 月に環境大臣より「北海道が

リ塩化ビフェニル廃棄物処理事業実施計画」の事業認可、平成 16 年 3 月の事業区域拡大を受け、平成 18 年 3 月に建設に着手し、平成 20 年 5 月から操業を開始した。当施設の処理対象地域は北海道及び東北、北関東、甲信越、北陸の 1 道 15 県で、これらの地域に保管されている PCB 廃棄物の高圧トランス・コンデンサ、PCB 油類を安全で確実に処理することとしている。



Fig. 1 JESCO Hokkaido

1. 平成 21 年 6 月 11 日 本会第 122 回例会において発表
2. 日本環境安全事業株式会社北海道事業所
平成 21 年 2 月 25 日受理

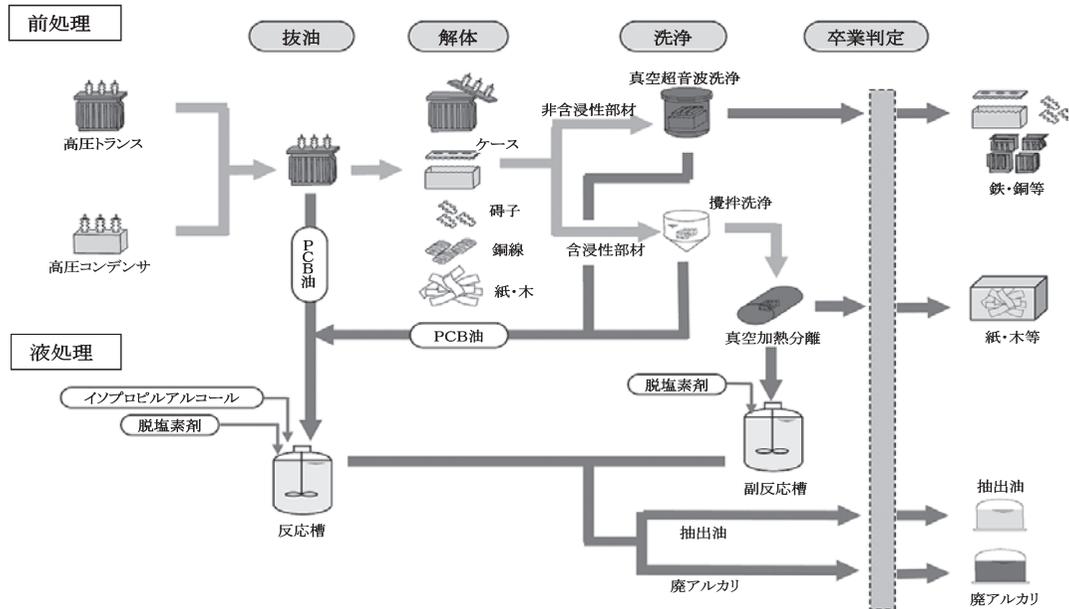


Fig.2 Flow of PCB waste treatment

施設建設にあたっては、安全・確実な PCB 処理方法の採用、リスクマネジメントの考え方に立った多重の安全対策、処理状況の情報公開が設計思想となっている。

2. PCB 廃棄物処理施設の概要

2.1 施設の概要

施設名：北海道 PCB 廃棄物処理施設 (Fig.1)

施設場所：北海道室蘭市仲町 14 番地 7

施設概要：敷地面積約 40,000m²、建築面積 11,000m²、
延床面積約 25,500m²、鉄骨 4 階建

主要施設：PCB 廃棄物処理プラント（受入・荷捌設備、
前処理設備、液処理設備、払出設備、ユーティリティ設備等）

PCB 処理能力：1.8t/日 (PCB 分解量)

処理方式：【PCB 廃棄物からの PCB 除去】

溶媒抽出分解法（真空加熱分離法を含む）

【PCB 分解処理】

脱塩素化分解：金属 Na 分散体法

施工者：【プラント】新日鉄エンジ・日鋼・神鋼環境
異工種建設工事共同企業体

【建築】清水・大成・鹿島特定建設工事
共同企業体

【屋外施設】北興・草塩・勝田経常建設工事
共同企業体

2.2 処理方法の概要

当施設の処理システムは、脱塩素化分解方式により、
高圧トランス・コンデンサから抜き取った PCB や PCB 油
類を分解処理している。容器等は解体・分別・洗浄処理さ
れ、内容物のアルミ箔・紙・木などは、真空加熱分離設
備を使用し処理している。Fig.2 に処理工程図を示す。

3. 安全設計の概要

当施設の安全設計に際しては、関連法令の遵守に加え、
「ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会」報告
書の提言内容を反映させることにより、リスクマネジメ
ントの考え方に立ち施設全体の安全性を確保した設と
している。

加えて、先行する他事業所における改善措置等を踏ま
え、プロセス安全設計、操業監視システム、フェイルセ
ーフ、セーフティネットという多重防護構造が十分に機
能を発揮するよう配慮し、運転時の異常発生及び不可
抗力的な自然災害・緊急事態に対しても安全な停止なら
びに安定した操業への復帰が可能であるとともに、施設
外への影響を極小化する施設設計となっている。

3.1 プロセス安全設計

(1) 安全解析による安全設計

① 安定した運転、操業を行うため、機械化および化学
プロセスの制御として一般的な分散制御、自動制御

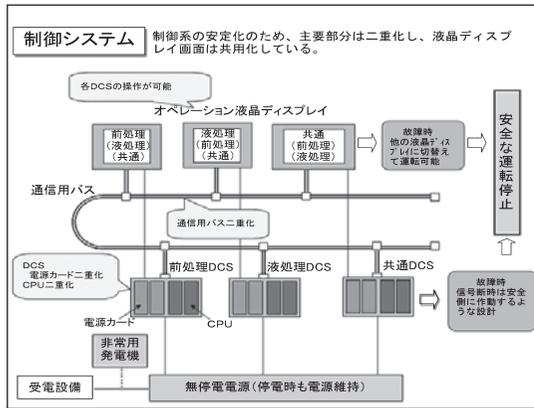


Fig.3 Operation monitoring system

を採用

- ②ユーティリティ設備の安定供給対策を設計に組込
- (2) 安全解析以外で配慮された安全設計
 - ①腐食等を考慮した適正な材料選定
 - ②流体特性を考慮した適正な継手の選定
 - ③夾雑成分によるオンラインモニタリングの誤警報防止対策の採用

3.2 操業監視システムの内容

- (1) 中央制御室にて集中制御。
- (2) 運転状況の遠隔監視ができるようITVを設置。
- (3) オンラインモニタリングや漏洩検知器による監視。

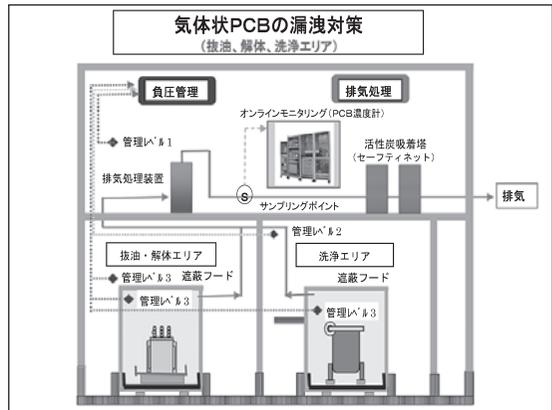
3.3 フェイルセーフ

- (1) 温度、圧力、液面、濃度等の計器の中で安全上重要な計器は多重化。
- (2) 液移送の際、液レベル異常の場合には液面計の設定ポイントでポンプを停止させるシステムを組込。
- (3) 警報と連動して緊急自動停止ができる設計。
- (4) 停電等異常時の自動弁の開閉は安全側に作動。
- (5) 停電時の対策として制御、計装機器類には無停電電源装置より電源供給。
- (6) オンラインモニタリング異常警報と連動して排気、換気の緊急自動運転。

3.4 セーフティネット

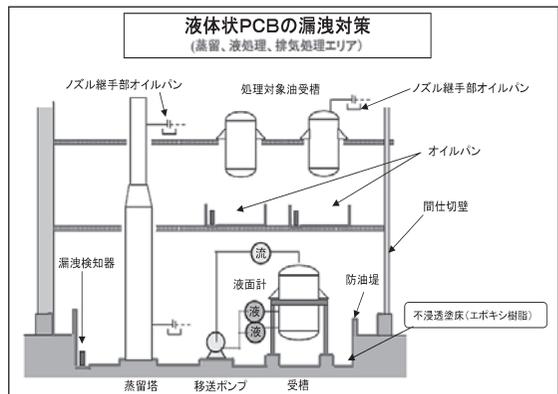
- (1) 排気はそれぞれのプロセス内で処理した後、更に活性炭吸着塔を通して施設外へ排出。オンラインモニタリングにより排気中の微量PCB濃度を管理、監視。また、PCB取扱区域は、常時、活性炭を通して排気。

- (2) 建屋内に管理区域を設定し、管理区分レベル毎に負圧管理。管理レベルに限らず施設全体の負圧バランスに配慮。
- (3) オイルパン・ステンレス床・防油堤・不浸透性塗床により漏洩PCB油の地下浸透防止、汚染区域拡大防止。



- ①PCB取扱作業は、作業内容によって遮蔽フード・局所排気装置を設置
- ②発生源毎に処理系統を分割

Fig.4 Safety nets (1)



- ①漏洩検知器の設置
- ②主要な貯留槽の液面計を二重化
- ③鋼板溶接構造の油受けオイルパン及び防油堤の設置
- ④移送ラインに重量計測や積算流量計等を設置し移送量を制御
- ⑤配管バルブに漏洩防止付タイプを採用

Fig.5 Safety nets (2)

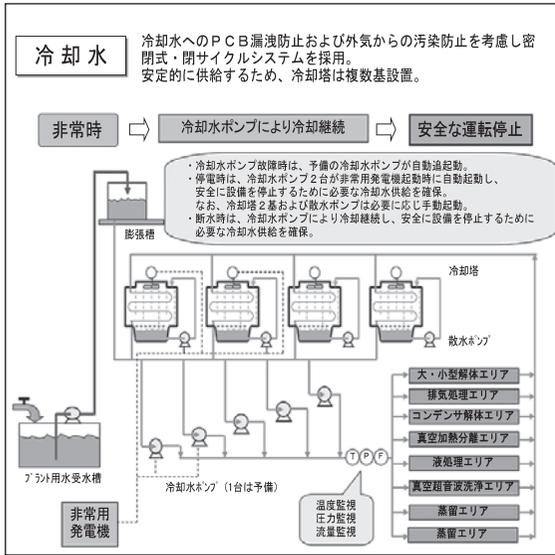


Fig.6 Measure of emergency for cooling water

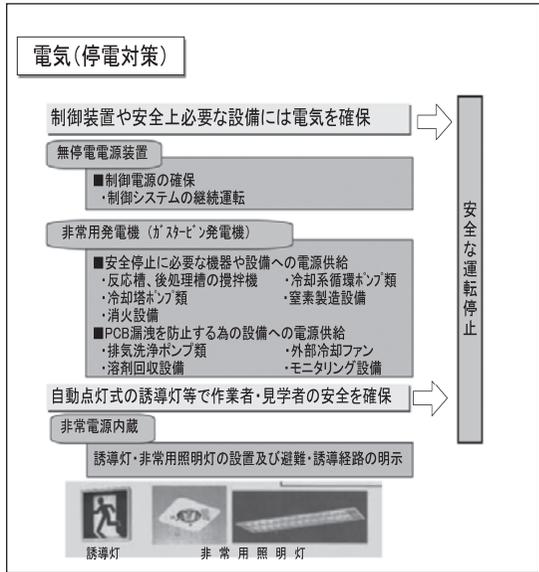


Fig.7 Measure for blackout

4. 緊急時における対応方策

様々な緊急時を具体的に想定し、

- ①マニュアル等による対応方策の明確化
- ②関係者の緊急連絡体制の整備、
- ③専門家から助言等を受ける支援体制の整備

を行っている。

また、想定される事態と対応は次のとおりである。

地震 設定震度を超える場合は、施設の緊急全停止及び異常点検を行い、設定震度以下の場合は、対応マニュアルに従い、設備の点検を行う。

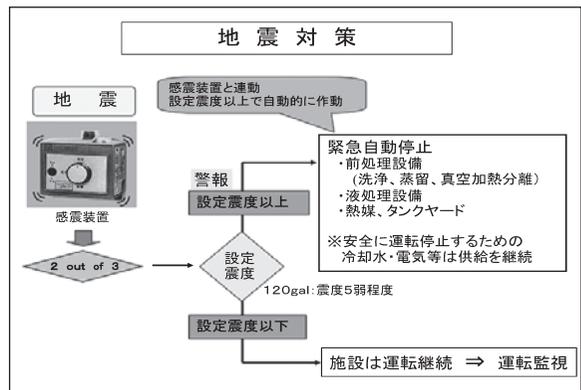
火災 防火対策として防爆仕様、防火区画を設定し、消防用設備として自動火災報知器、粉末消火設備を備える。

浸水 台風・豪雨時における浸水防止対策を考慮した施設としている。

停電 無停電電源装置、非常用発電機により停電時の安全を確保する。

断水 用水確保が困難な場合は自動的に施設を安全に停止させる。

事故 制御装置による運転自動停止及び緊急停止スイッチによる運転手動停止を備えている。



耐震設計
 基礎：液状化現象を考慮した基礎構造設計(岩盤支持)とするとともに、横揺れに対する水平力支持を杭に持たせるため鉄筋を増量
 構造：保有水平力も算定し、必要保有耐力以上を確保するよう設計。

Fig.8 Measure for earthquake

5. PCB 脱塩素化分解

5.1 PCBとは

PCBは工業的に合成された物質で、ベンゼン環が2つ合わさった構造(ビフェニル)の水素原子が塩素原子で置換されたもので、塩素の数(1~10)や位置が異なる209種類の異性体がある。

PCBの性質は、・水に溶けにくい ・熱で分解しにくい ・不燃性、電気絶縁性が高いなど、化学的に安定していて、電気機器の絶縁油、熱媒体、ノンカーボン紙など様々な用途で利用されてきた。

しかし、カネミ油症事件(1968年西日本で、食用の米ぬか油に脱臭工程の熱媒体として用いられていた PCB等が混入したことによる健康被害事件。患者数は一万数千人といわれている)を契機に PCBの有害性が明らかになった。

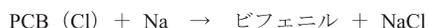
PCBの毒性は、毒劇物に相当する強い急性毒性はないが、PCBは脂肪に溶けやすく長期間の摂取により体内に徐々に蓄積する。PCBによる中毒症状としては脂質代謝の異常や肝臓障害等が報告されている。

また、コプラナーPCBと呼ばれる異性体は、ダイオキシン類に分類され、高い毒性を有している。

5.2 PCBの分解について

北海道 PCB 廃棄物処理施設で PCB 油の液処理を行う技術としては、PCBを脱塩素化剤(金属ナトリウムを微粒子にして絶縁油中に混合して取扱の安全性を高めたもの)と化学反応させ、無害化するものである。

これを脱塩素化分解といい、以下の反応となる。



この反応プロセスの特徴は次のとおりである。

- ・カナダで二十数年間、無事故で操業中
- ・反応温度が低く、無用な PCB の蒸発を抑制
- ・燃焼による排気や処理工程からの排水が出ない
- ・ダイオキシン類も容易に分解
- ・希釈溶剤は系内でリサイクル
- ・低濃度 PCB から高濃度 PCB まで処理可能
- ・処理済油は燃料としてリサイクル可能

次に反応のプロセスを述べる。

①供給・混合

PCB、希釈溶剤(炭化水素系溶剤)、脱塩素化剤、IPA

(イソプロピルアルコール：水素を供与し、ビフェニルの重合を防ぐ)を計量し、混合槽に供給する。

②分解・確認

PCBと脱塩素化剤を常圧、115℃(主反応槽)及び180℃(副反応槽)の条件で、十分に攪拌混合し、PCBを確実に分解する。

分解後は迅速分析法により PCB濃度を確認する。

③抽出・分離

分解済液に水を加え、NaClを水相に抽出するとともに余剰な Naを水和する。さらに静置により油相と水相を分離する。

④水洗

分離後の油相中に残存するわずかの NaClと IPAを抽出するためにさらに水洗する。水洗に使用した水は抽出水として再利用する。

⑤溶剤回収・払出

処理済油中に含まれる希釈溶剤を蒸留分離し、系内でリサイクルする。

最終的に、PCBが無害化されたかどうかを確認するための卒業判定試験と呼ばれる分析を行う。

PCB無害化で生じた処理済油及び廃アルカリは、卒業判定試験に合格したもののみ適正に払出される。

6. おわりに

弊社の基本理念は「安全で確実な処理」と「情報公開」であり、これに基づき北海道事業所における PCB 廃棄物の無害化処理事業に取り組んでいる。「安全で確実な処理」を行うため、施設においては、万が一施設内に PCB が漏洩したとしても、PCB が施設外へ拡散することを防ぐため、施設全体としてフェイルセーフ、セーフティネットの観点に立った多重の環境汚染防止対策を講じている。

また、「情報公開」については、「PCB 処理情報センター」を設置し、PCB とその処理に関する情報を積極的に提供している。さらに、処理施設内には、実際の処理現場を見学するための見学ルートを設置している。

今後とも、PCB 処理の実施にあたっては、基本理念を最優先とし、地域の皆様方の信頼が得られるように着実な施設運営を行っていききたい。

新日鐵室蘭製鐵所 100 年の歩みと将来展望¹

中山 秀明²

The History during past 100 years and the Future
of Muroran Works NIPPON STEEL CORPORATION

Hideaki NAKAYAMA

Muroran Works NIPPON STEEL CORPORATION

Abstract

Muroran Works has been operated for 100 years since 1909. It has been changing and developing, being situated as the site of producing special rod and wire materials. There is a certain tendency towards higher function steel, higher strength steel and fewer manufacturing process from customers' demands with increasing importance of global environmental preservation. The author introduces about the change of process, the development of new products and the dealing with environmental issues at Muroran Works. Finally the author comments the future of Muroran Works.

Key words: Special steel, Environment, CO₂, Saving energy, Cost

1. 室蘭製鐵所の 100 年のあゆみ

1.1 製鐵所発祥の経緯

室蘭製鐵所は恵まれた地理的要素、つまり天然の良港室蘭港、夕張の石炭、噴火湾一帯の砂鉄、虻田の鉄鉱石を背景に、日露戦争を端に鉄鋼需要が急増する中で、北海道炭礦汽船の井上角五郎の経営判断により、わが国初の砂鉄精錬による 50 トン溶鉱炉が輪西村に建設され、近代化推進の象徴として 1909 年（明治 42 年）に操業を開始した。

1.2 製鐵所の変遷

(1) 製鐵所の歴史（Table 1）

室蘭製鐵所は時代の趨勢とともに変化・発展を遂げてきた。第一次大戦の好況時の 1917 年（大正 6 年）、北海道炭礦汽船、三井鉱山、三井合名三社との共同出資により北海道製鐵を設立、1919 年（大正 8 年）には不況に陥り日本製鐵所と合併、1931 年（昭和 6 年）、長引く不況

の中、官民合同製鐵構想の動きに応じて日本製鐵所から分離し輪西製鐵を設立した。1934 年（昭和 9 年）には製鐵合同案に基づき、日本製鐵輪西製鐵所を改称し、北海道唯一の銑鋼一貫製鐵所の確立へと発展を遂げた。

戦後復興の中の 1950 年（昭和 25 年）、日本製鐵は過度経済力集中排除法の指定を受け解体し富士製鐵が誕生するとともに所名を富士製鐵株式会社室蘭製鐵所に改称した。そして設備拡充・刷新を強化し設備の近代化を図りながら、1970 年（昭和 45 年）、八幡製鐵と富士製鐵の合併により、「新日本製鐵株式会社室蘭製鐵所」が誕生した。

その後、石油危機が勃発、長引く不況の中で大形工場休止等抜本的な合理化対策を余議なくされる一方、体質強化を狙い最新技術を駆使した設備投資は継続された。1985 年（昭和 60 年）に LF 設置等特殊鋼生産に重点をおいた体制が整備され「特殊鋼室蘭」への歩みが始まった。

1983 年（昭和 58 年）以降の生産構造変革の中で、1987 年（昭和 62 年）高炉休止が一度決定され新溶解法（転炉でスクラップから溶銑を製造）を採用することになったが、三菱製鋼の室蘭進出を契機に 1991 年（平成 3 年）高炉操業継続が決定された。そして鋼板製造休止と同時に

1. 平成 21 年 6 月 11 日 本会第 122 回例会において発表

2. 新日本製鐵(株)室蘭製鐵所総務部

平成 21 年 2 月 25 日受理

Table 1 History of Muroran Works

Jul. 1909	No. 1 blast furnace went into operation.
Feb. 1917	Hokkaido Iron & Steel Co., Ltd. was founded.
Dec. 1919	Hokkaido Steel merged with Japan Steel Works.
Apr. 1931	Wanishi Iron & Steel Co., Ltd. was founded.
Feb. 1934	Japan Iron & Steel Co., Ltd. was founded.
Dec. 1939	Nakamachi No. 1 blast furnace went into operation.
Apr. 1950	Japan Iron & Steel Co., Ltd. was dissolved. Wanishi Works of Fuji Iron & Steel Co., Ltd. went into operation.
Apr. 1951	Wanishi Works changed name to Muroran Works.
Sep. 1957	Continuous hot strip mill went into operation.
Apr. 1961	No. 4 blast furnace went into operation.
Jul. 1961	No. 2 steelmaking plant went into operation.
Jul. 1965	No. 1 continuous casting machine (the first of its kind jointly developed by Hitachi Ltd.) went into operation.
Oct. 1965	A cold strip mill went into operation.
Sep. 1969	No. 2 wire rod mill went into operation.
Apr. 1970	Muroran Works of Nippon Steel Corporation went into operation.
Mar. 1974	Three-shift-four-group-system went into effect.
Jan. 1976	Bar mill went into operation.
Oct. 1977	No. 6 sintering and ore-treating furnace went into operation.
Oct. 1979	New No. 1 steelmaking plant went into operation.
Jul. 1981	No. 6 coke oven went into operation.
Nov. 1981	No. 5 coke oven of CDQ facilities went into operation.
Mar. 1985	No. 3 continuous casting machine went into operation.
Jul. 1985	Wide flange beam mill operations were suspended.
Aug. 1985	No. 2 blast furnace went into operation.
Aug. 1987	No. 4 blast furnace operations were suspended.
Sep. 1990	All weather-type berth went into operation.
Apr. 1994	Continuous hot strip mill was suspended.
Apr. 1994	HOKKAI IRON & COKE CORPORATION was founded.
Aug. 1996	Mitsubishi Steel Muroran Inc. was founded.
Nov. 1999	Muroran Works was registered with "ISO 9001."
Aug. 2000	Muroran Works was registered with "ISO 14001."
Oct. 2001	Muroran Works was registered with "QS-9000."
Nov. 2001	IPP (Independent Power Producer) went into operation.
Apr. 2002	No. 2 relined blast furnace went into operation.
Aug. 2005	Waste plastic recycling facility went into operation.
May 2007	Electric furnace went into operation.

特殊鋼基地化を一気に推し進め、室蘭製鐵所は新日鐵における特殊鋼棒線供給基地として位置付けられるようになり、幾多の困難を乗り越えて2009年に創業100周年を迎えるに至った。

(2)生産量推移と従業員の変化

Fig.1に室蘭製鐵所の生産量推移を示す。戦後復興の中では高炉四基を構え年間粗鋼生産250万トンに達し、昭

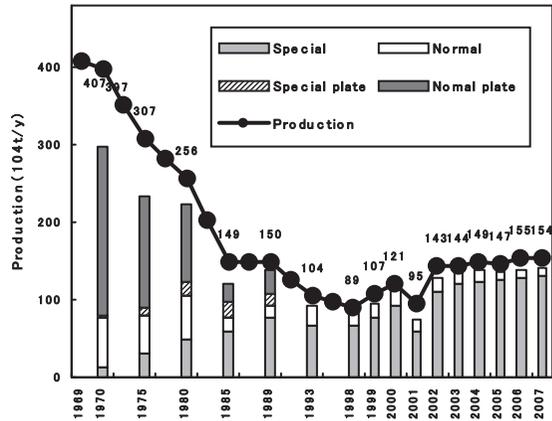


Fig. 1 Trend of Production

和44年(1969年)には第四高炉で高圧操業が開始され、年間粗鋼生産が400万トンを超える最高記録を樹立し、従業員も8000人を超えていた。その後は合理化の歴史であり、昭和60年(1985年)頃の円高不況から減産・縮小が継続し、平成10年には粗鋼90万トンを割り込み、従業員も約800人と全盛時の約10分の1という苦しい時代を迎えた。足元、特に2002年(平成14年)以降は、中国を中心とした世界の鋼材消費の伸張及び自動車産業の好況に支えられ、室蘭製鐵所の平成19年度粗鋼生産量は電気炉分と合わせて176万t/Yと着実に増加している。

(3)技術開発の歴史

室蘭製鐵所は創業以来、常に世界最高水準の製鉄技術レベルの確保を目指し、弛みない技術開発と操業努力を続けてきた。製鉄部門では、コンベア式の装入法等を採用した「高圧高炉操業」や、わが国初のステープ冷却方式も導入した。また、プレカーボン法により世界最高水準の予熱炭操業技術を確立した(当該コークス炉は設備改造を実施し平成19年5月より新たなプレカーボン改良法により再稼働)。製鋼部門では、昭和36年(1961年)に当時最大級の転炉を導入し、世界初の転炉によるステンレス鋼の出鋼も行い今日の特種鋼製造技術の草分けとなった。また製鋼圧延直結プロセスの開発では大河内記念賞を受賞した。圧延部門のうち熱延関連では、Mスタンド直送圧延による省エネルギー技術開発を始め、異径ロール圧延・MEM圧延による高精度圧延技術を確立した。また、高耐錆性ステンレス鋼YUS180やチタンクラッド鋼板などの新商品開発でも業界をリードし品質の高度化・厳格化に対応してきた。線材・棒鋼関連では国内初の連続VH圧延機を採用した。更には制御圧延・制御冷却設備(業界初となるEDC、マイルドアロイ製造設備等)、多目的調整冷却設備等を導入し品質の高度化を図ってきた。

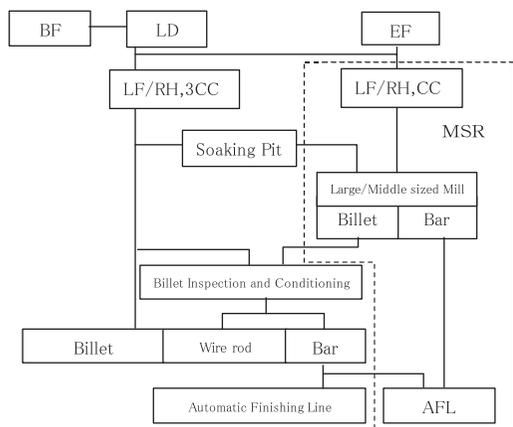


Fig. 2 Process of production

このように室蘭製鐵所は今も尚技術開発魂は受け継がれ、板の製鐵所から特殊鋼棒線の製鐵所へ生まれ変わり特殊鋼トップメーカーを目指している。

2. 新日鐵社内唯一の特殊鋼棒線基地へ

2.1 新日鐵における室蘭製鐵所の位置付けと特徴

新日鐵は厚板・薄板系を主体とする八幡、君津、名古屋、大分の4つの総合製鐵所と室蘭、釜石、東京、堺、広畑の5つの専門製鐵所よりなる。この中で、棒線製品の生産拠点は、室蘭、君津、釜石の3製鐵所である。新日鐵全社の生産量に対する棒線製品の生産量の比率は約11%であり、さらにそのうちの約半分を室蘭で製造している。室蘭は社内唯一の特殊鋼“棒・線”製鐵所として位置付けられており、主として自動車向けの高級棒線を製造している。

2.2 生産構造

Fig.2 に室蘭製鐵所の生産構造を示す。当所では、厳選された原料から高炉でつくられる高純度の溶銑を使用し、業界最高レベルの高純鋼生産体制により、高品質で広範な鋼種の棒鋼・線材を製造している。平成19年度の特特殊鋼の生産量比率は約90%であり、鋼種別の生産構成は炭素鋼40%、合金鋼25%、ばね鋼11%である。用途別では、国内、輸出を合わせて90%弱が自動車向けである。

当所の高炉は1985年に新設火入れ、2001年に拡大改修されたものであり、その容積は2902m³、生産能力は7000t/dayである。また、270t 転炉を二基保有している。高炉、転炉ともに特殊鋼業界では最大の能力を有しており、大型化による溶銑成分、溶鋼成分のバラツキ低減と品質安定化を実現している点が特徴である。さらに2005年より電気炉を新たに保有し、鉄源を溶銑とスクラップの二系統とすることにより生産能力の増強を図っている。

また、高級特殊鋼棒線の製造を可能とするために、真空脱ガス(RH)、取鍋精錬(LF)等の二次精錬設備も完備している。連続鋳造による鋳片サイズは、中断面と大断面の2種類を有しており、特に中断面鋳片を適用した鋳片プロセスは、整流化による低コスト化と高品質の両立を実現している。また、鋼片精整ラインとして、鋼片の表面疵を自動探傷—自動疵取り、および内部欠損深傷ラインを設置するなど、最新鋭の品質保証体制を構築している。

次に、製品圧延工場としては、棒鋼工場、線材工場の2つの工場を有している。ともに1ストランド全連続非捻転圧延方式であり、精密圧延、制御圧延が可能な圧延機仕様であり、種々の調整冷却設備も付帯されている。また、二次加工ラインとして、焼鈍ライン、皮膜処理ライン、伸線ラインを保有している。特に、自動疵検査、除去設備を設置しており、ばね等の全長疵保証が可能となっている。棒鋼、線材ともに製品は自動立体倉庫に保管され、全天候パースから天候に影響されないで出荷されている。

2.3 プロセスの特徴

室蘭の特特殊鋼製造プロセスの主要な特徴は、次の三点である。

- ①高炉銑、つまり純粋な鉄源を使用するとともに、充実した二次精錬を適用することによる高度な化学成分コントロール
- ②新日鐵独自の介在物形態制御技術(オキサイドメタラジー)
- ③棒鋼・線材圧延；疵の少ない全H-V圧延、および制御圧延—調整冷却設備によるインライン熱処理¹⁾。

このような室蘭の独自の設備・プロセスを活かして、さらにマイクロアロイング、オキサイドメタラジー等の新日鐵の独自技術を適用することにより、当所では低炭素鋼から高炭素鋼まで幅広い特殊鋼新商品を開発している。

現在、自動車用特殊鋼棒線に要求されている課題と新商品、適用部品例をFig.3に示す。当所では、商品開発に関しても「環境対応」を最重点課題と位置付け、種々の視点から「地球環境負荷低減に貢献する商品」の開発を推進している²⁾。個別の具体的な課題としては環境負荷物質低減商品、部品性能向上・高純度化、工程省略の三点に大別される。環境負荷物質低減商品の代表例は、非鉛快削鋼である。各種の快削鋼では被削性を改善するために環境負荷物質である鉛が添加されているが、非鉛快削鋼は鉛無添加で鉛快削鋼と同等レベルまで被削性を改善した鋼材である³⁾。次に、部品性能向上に関しては、近年の欧州等での排ガス規制を契機にして、自動車の軽量化・燃費の向上を狙いとした高強度のニーズが特に高まっている。ミッション部品、エンジン部品、シャシー部

Market needs		New products	Application to parts
Environmental issues	Lead free	Lead-free steel	Engine parts Undercarriage parts
	Reducing CO ₂ emission	NSACE steel	Carburizing units
Performance upgrage of parts	High streghth	High strength steel for gear	Transmission gear
	Reducing noise (Distortion minimization)	High strength steel for spring	Valve spring
		High strength steel for bolt	Bolt
Cost reduction	Process omission	Mild steel	Cold forging parts
		Super mild steel	Cold forging parts

Fig. 3 Products of special steel at Muroran

品向けに高強度歯車用鋼、高強度ばね鋼、高強度ボルト鋼等が開発され、それぞれ適用が進められている。また、自動車部品の製造においては、通常、鍛造の前後に焼鈍、焼入れ焼戻し等の種々の熱処理工程を必要としている。そのため、CO₂削減、省エネルギー、コスト削減の観点から熱処理省略の指向が強い。例えば、マイルド鋼、スーパーマイルド鋼は、室蘭独自の制御圧延—調整冷却設備により、圧延のまま焼鈍材と同等の軟質化を実現し、焼鈍省略を可能とした冷間鍛造用鋼である⁴⁾。

2.4 コンビナートの連携

新日鐵室蘭の構内には、北海製鉄、三菱製鋼室蘭特殊鋼ならびに二次加工メーカーが進出し、特殊鋼棒線コンビナートを形成している。Fig.4に新日鐵室蘭構内に浸出している関連会社を示す。北海製鉄は銑鉄、コークスの製造を担当している。三菱製鋼室蘭特殊鋼とは緊密な生産連携を進めており、新日鐵から溶鋼供給（これにより三菱製鋼は電炉を休止）、また、両社の連携機の効率的

運用による OEM の拡大、両社の棒鋼圧延ラインの最適運用、調整ラインの相互活用等により生産量最大化に向けた最適生産分担を実施している。

次に、二次加工メーカーとしては、昭和 60 年以降、松菱金属、サンユウ、日亜鋼業が相次いで構内に進出し、当社の棒線を使用して、磨棒鋼の製造、高力ボルトの製造を行っている。また、平成 5 年にはムロランズズキ、平成 18 年には北海道スチールワイヤーが構内に進出し、ばね用オイルテンパー線の製造を行っている。さらに関連会社として、ニッツ北海道制御システム (nCS)、ニッツ室蘭エンジニアリング (SMEX) 等があり、構内の電気・機械・システムエンジニアリング等の機能を分担している。

3. 環境対応型製鐵所を目指して —室蘭コンビナート—

3.1 省エネルギーの変遷

1973 年の石油ショック以来、当所においても数次にわたる省エネルギー計画を推進してきた (Fig.5)。啓蒙活動や計測機器充実など省エネルギー教育から始まった活動に続き、CC (連続铸造) などのプロセス革新、CDQ (コークス乾式消化設備) や TRT (高炉炉頂圧回収設備) などの排熱回収、機器の高効率化などの設備投資を行い、20 年間で約 20% の省エネルギーを達成した。その間、脱石油も推進され、高炉の還元剤を重油から全てコークスに換え、更にコークスの一部を石炭に替える省エネルギー型の PCI (微粉炭吹込み設備) を導入した。その結果、当所を含めた日本の鉄鋼業の省エネルギー技術は世界で最先端のものとなった。

その後、エネルギー価格の落ち着きと実現可能な投資案件の枯渇から活動は低迷したが、最近では地球環境問題

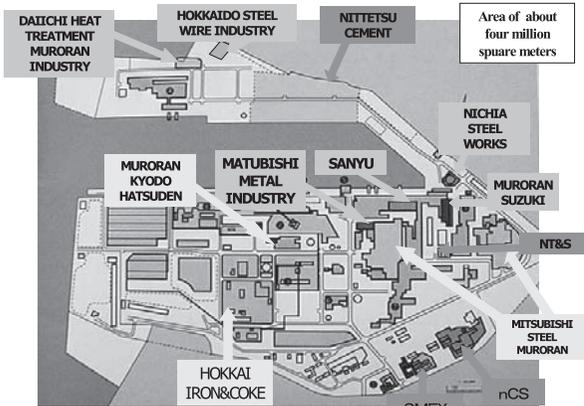


Fig. 4 Industrial complex with some other companies

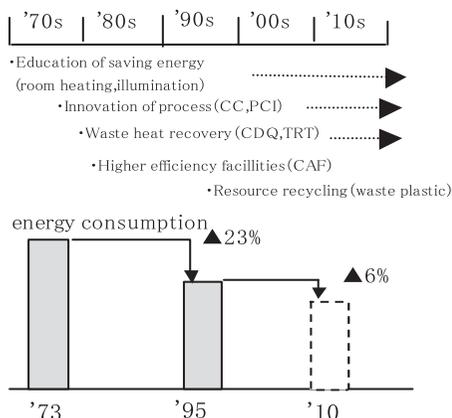


Fig. 5 Energy consumption activities

への対応から省エネルギーの重要性が再認識されてきている。しかし、製鐵所内の活動に限っていたのでは限界に近づいているため、廃プラスチックなどの社会の廃棄物のもつエネルギーを利用して化石燃料を削減するなど、活動の範囲を広く構えて更なる省エネルギーを推進しているところである。

3.2 発生副産物の利用状況

鉄製造の原料として鉄鉱石と石炭及び石灰石を使用しているため、その中の有機物は副生ガスとなって、また無機物は鉄鋼スラグとなって発生する。副生ガスは除塵・回収して加熱炉や自家発電所の燃料として活用している。また、鉄鋼スラグはセメント原料や路盤材として資源化している。この他に発生するダストやスラッジは鉄源としてリサイクル使用し、また廃耐火物は一部耐火物として再生したり副原料としてリサイクルしている。このように製鐵所は、その発生副産物のほぼ 100%が資源化されている (Fig.6)。

3.2 環境産業ビジネス関連への取組み

平成 13 年から自家発電所のリフレッシュに合わせて設備の大型化による高効率化・省エネルギーを図るため電力会社への電力供給事業 (IPP) を開始した。発電所

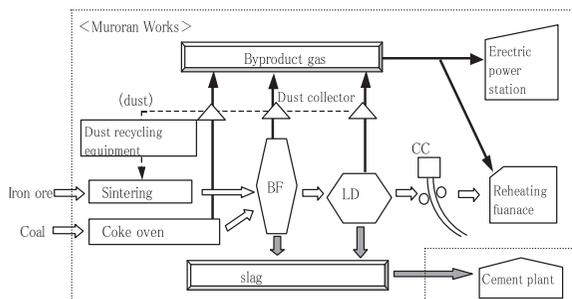


Fig. 6 By-product recycling flow at Muroran Works

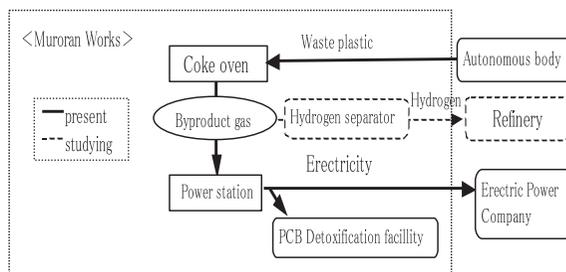


Fig. 7 Environmental business at Muroran Works

の電力は、製鐵所構内に誘致し平成 20 年度から稼働開始する予定の PCB 廃棄物処理施設への供給も行っている。また、平成 14 年度からは容器包装プラスチックの廃棄物を自治体から収集してコークス炉の原料として使用する再資源化処理事業を開始している。現在は、そのコークス炉から発生する副生ガスから水素を分離して石油精製所に供給することにより、原油から水素製造する際に発生する二酸化炭素を削減する事業を検討中である (Fig.7)。

以上のように室蘭製鐵所は、所内の省エネルギーと資源化推進に止まらず製鐵所のインフラを活用して、所外の廃棄物資源化や二酸化炭素削減を行うという、より高度な環境対応型製鐵所に進化しつつある。

4. 将来展望について

室蘭製鐵所は関東以北では唯一の高炉による一貫特殊鋼生産ミルである。従って、第一に、特殊鋼製造実力の更なる発展が大事である。主要顧客である自動車や産業機械関連会社のグローバル化、とりわけ北海道内地域での拡大・連携・進出に際し、特殊鋼材に関する供給・開発・物流等で大きな企業価値の向上と同時にその供給責任が増大すると推測している。昭和 60 年にスタートした室蘭コンビナート内への素材加工組立関連企業との進出連携強化時期を第一期とするならば (Fig.8)、今後は第二期として、更に鋼材加工関連事業分野の積極的なコンビナート内へ企業誘致や近隣に新たに進出された各企業特に、自動車関連企業との一貫生産工程効率化・最適化の視点にての連携強化が極めて重要になる。第二に、鉄鋼関連事業で培った技術・設備・ノウハウをベースに隣接企業あるいは大学や研究機関等と、多角的な視点での連携事業や技術の発掘・推進が重要になるであろう。

特殊鋼鋼材メーカーとして更に発展するために、①高級特殊鋼棒線材の更なる品質・機能の高度化 ②鋼材の高強度化に合致する製造プロセスの適正化 ③特殊鋼物造

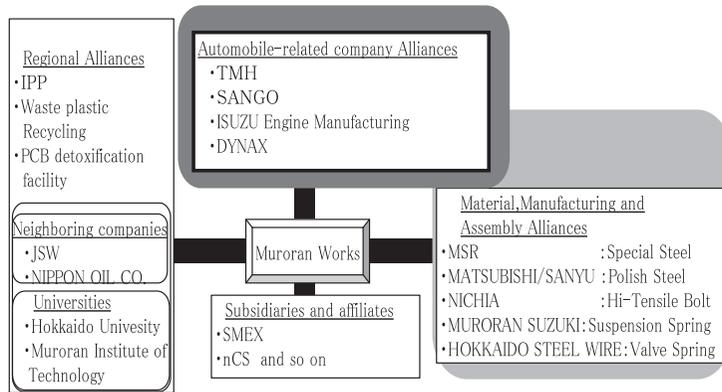


Fig. 8 Corporation between Muroran Works and local community

り力”の強化等のために、製造技術・技能の育成や伝承といった人材育成等に関する基盤整備も極めて重要であると考えている。また、新たな視点での連携アイテムのためには、環境やエネルギー問題を捉え、地元の室蘭工大や北大等の工学系大学を含めた学協会との学生や社会人技術者の交流や近隣企業との共同研究あるいは連携が、益々重要になり積極的に企画・推進していくべきである。

室蘭製鐵所は「総合力 No.1」の特殊鋼トップメーカーを目標としている。安全と法令順守が総ての基本になるが、更なる安定した生産・供給・顧客対応力、そして環境対応力の向上のために地元や近隣企業・大学との連携を更に深化させていかなければならない。

References

1. A.Yoshie, T.Banno, S.Sugimaru, Y.Shinbo, S. Nishida, R.Seki, A.Kawana, K.Banno : Shinnittetsu Giho, **370**, pp.27-32 (1999)
2. T.Ochi, S.Nishida, M.Sugiyama, J.Takahashi, T.Tarui : Shinnittetsu Giho, **386**, pp.5-10 (2007)
3. M.Hashimura, K.Miyaniishi, A.Mizuno : Shinnittetsu Giho, **386**, pp.42-46 (1937)
4. T.Ochi, H.Takeda, M.Kubota, H.Kanisawa, K.Naito : Shinnittetsu Giho, **370**, pp.11-16 (1999)

微生物を利用する石油系燃料油汚染土壌の浄化¹

菊池慎太郎²

Microbial Remediation of Soils contaminated with Petroleum Oils

Shintaro KIKUCHI

Department of Applied Chemistry, Muroran Institute of Technology

Abstract

Microbial procedures to eliminate organic pollutions in environments are called microbial remediation or bioremediation, and known as the effective strategy to preserve soil environments and aquatic ones. However, psychrophiles, which mean microorganisms resistant to low temperatures, and relatively long periods for several years are necessary to complete the procedures successfully in cold regions like Hokkaido, because elimination rates of pollutions depend on metabolic activities of microorganisms.

We isolated and established new bacterial strains from soils of Hokkaido. They were able to utilize petroleum oils as the sole carbon source of nutrients for growth at low temperatures from 5°C through 35°C, and 50% of concentrations of the oils in soil decreased within about 30days in experiments of flask-scales and field-ones.

Details of the experiments and attempts to remediate soil contaminated with petroleum oils using the new bacterial strains will be reported.

Key words: Microorganisms, Remediation, Petroleum oils

1. はじめに

ガソリンや灯油などの石油系燃料油は今日の経済活動と社会生活に不可欠なエネルギー源であり、その消費量も年々増加しつつあるが、同時にガソリンスタンドなどの小規模事業所跡地に残存するガソリンや、北海道のような寒冷地における一般家庭灯油備蓄設備からの灯油漏出に起因する土壌汚染も顕在化しつつある。

そのような観点から、微生物を利用して省エネルギー的に汚染土壌を浄化し得るバイオレメディエーション法（原位置微生物土壌浄化法）が注目されており、土壌内在微生物に栄養源を供給して汚染原因有機物を分解除去するバイオスティミュレーション法や、汚染原因有機物に特異的な分解能力を有する微生物（汚染原因物質資化微生物）を利用するバイオオーグメンテーション法

などの改良法も開発されている^{1),2)}。

他方、バイオレメディエーション法による汚染浄化は、微生物の汚染原因有機物代謝活性（すなわち分解能力あるいは資化活性）に依存することから、北海道のような寒冷地においてバイオレメディエーション法を実施するためには低温環境下でも有機物代謝が可能な耐冷菌を開発しなければならず、培養方法の改良や遺伝子組み換えなどの煩雑で微生物科学的に熟練を要する技術も必要となる。またバイオレメディエーション法においては、満足できる浄化成果を得るまでに数ヶ月から数年の長期の処理期間を要するのが一般的であり、処理期間の短縮を目的として特定の菌種を 10^{10} -菌細胞/L-懸濁液以上の高濃度で用いることも試みられているが、低濃度では無害な菌類でも人為的に高濃度にすることによって有害性の発現する危険性も懸念される^{3),4)}。

さらに浄化対象とする土壌には、重金属類に代表されるような微生物の有機物代謝活性に抑制的あるいは阻害的に作用する因子が高濃度で存在する場合もあり、実験室における試験成果をそのまま実地に適用しても浄

1. 平成 21 年 6 月 11 日 本会第 122 回例会において発表
2. 室蘭工業大学工学部応用化学
平成 21 年 2 月 12 日受理

Table 1 Heavy metals in the soils used for the bacterial isolation

Sites	Iron	Manganese	Copper	Lead	Zinc
	(mg/kg-soils)				
A	300	150	123	29.1	0.91
B	546	98	42	10.8	0.55
C	911	54	66	7.2	13
D	1,010	27	97	30.2	5.12

化効果が発現しない場合も多い。

これらの諸点が寒冷地におけるバイオレメディエーションの実施を困難としてきたが、我々は石油系燃料油と重金属で重度に汚染された北海道内の土壌から石油系燃料油を唯一の炭素栄養源として良好に増殖する細菌類を分離した。これらの細菌類は、微生物学的な改変を行わなくても耐冷性、耐重金属性、および石油系燃料油高分解性を基本特性として有すると推定されることから、細菌衛生学的安全性を確認した後、これらの混合菌液を低濃度で石油系燃料油汚染土壌表面あるいは表面付近に直接的に散布した。

その結果、わずか約1ヵ月間の処理期間で当初濃度の50%以上に相当する汚染を浄化したので以下に詳細を紹介する。

2. 石油系燃料油分解菌の分離と培養

石油系燃料油を大量に使用した北海道東部の事業所跡地土壌から、石油系燃料油を唯一炭素源として増殖する微生物の分離を試みた。

なお一般に、土壌1kgあたりに数十mg程度の重金属が存在しても、微生物はメタロチオネインに代表される重金属結合タンパク質を誘導合成して細胞内重金属濃度の恒常性を保ち、増殖と有機物代謝が可能であるが、過剰な重金属の存在下では呼吸系などの生化学的酸化還元系が阻害され、あるいは細胞外殻構造に小孔が形成されて細胞内容物が漏出するため死滅する^{5,7)}。他方、Table 1に示すように、微生物分離に用いた土壌には高濃度の重金属が含有されていたことから、この土壌中に存在する微生物は低温および重金属に対して耐性をもつことが期待される。具体的には、事業所跡地の数ヵ所から採取した土壌の約1gをTable 2に示す灯油-最少塩類液体培地 (oil-minimum salts liquid medium : oil-MS 液体培地) に分散して好氣的に培養した後、その培養液を寒天で固化した oil-MS 液体培地 (oil-MS 固形培地) 表面に塗布接種し、中温域 (35°C または 25°C) あるいは低温域 (20°C または 15°C) で培養した。その結果、いずれの温度においても灯油を唯一炭素源として良好に増殖し、コロニーを形成する微生物2株を分離した (Fig.1)。なお

Table 2 Components of the oil-minimum salts medium

Components	Weights or volumes/L
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.0g
K ₂ HPO ₄	1.0g
NaH ₂ PO ₄	0.2g
NaCl	0.05g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.2g
CaCl ₂	0.05mg
FeCl ₃ · 6H ₂ O	8.3mg
MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.4mg
NaMoO ₄ · 2H ₂ O	1.17mg
ZnCl ₂	1.0mg
Commercial petroleum	10ML

Fig.1 (b) に示すように、分離菌株の1株のコロニーは滑面で光沢があつてコロニー周囲は明瞭であり、他の1株のそれは粗面で光沢がなくコロニー周囲は不明瞭であつたことから、両者を明瞭に区別することが可能であつた。これら分離菌それぞれのrRNAを微生物科学的常法にしたがつて抽出してPCR法で増幅した後、日本DNAデータバンク (DDBJ ; DNA Data Bank of Japan, <http://www.ddbj.nig.ac.jp>) に登録されている微生物のrRNAとの相同性を比較し、これらの分離菌株のいずれも *Pseudomonas aeruginosa* の菌株と同定した。以下においては、これらをそれぞれ *P. aeruginosa* TW-1 株あるいは *P. aeruginosa* TW-2 株と呼ぶ。

P. aeruginosa TW-1 株および TW-2 株は、中温域および低温域のいずれにおいても、ペプトン、酵母エキスおよび塩化ナトリウムを主成分とする LB (Luria-Bertani) 培地などの調製が容易な一般的培地や、ジャガイモ澱粉搾滓などの農産廃棄物を利用する安価な培地^{8),9)}でも良好に増殖し、さらにこれらの培地から石油系燃料油を唯一炭素源とする oil-MS 培地に移して培養してもいずれの温度でも遅滞期なくただちに増殖することが特徴である。

一般に微生物を移植して培養すると、新たな環境に適応する酵素系の誘導などの現象がもたらされ、見かけの

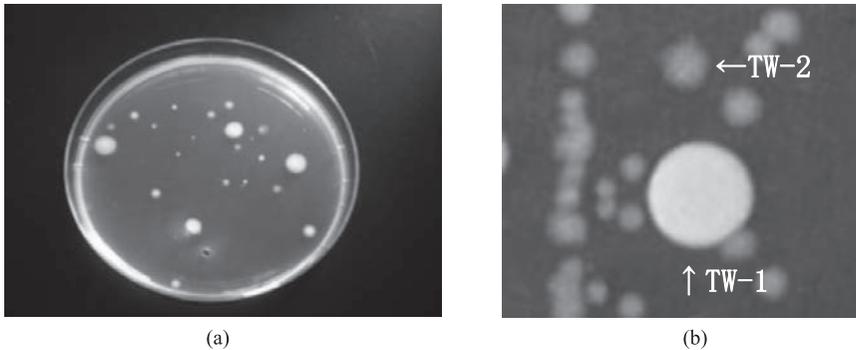


Fig. 1 Colonies of oil-degrading bacteria, TW-1 and TW-2

生菌数が変化しない遅滞期が観察される場合も多い。他方、微生物が広い温度適応性や新たな栄養源に対する高い資化性を有する場合には構成タンパク質系（構成酵素系）による物質代謝が可能であるので適応現象が不要であり、遅滞期は観察されない¹⁰⁾⁻¹²⁾。したがって TW-1 株および TW-2 株を中温域環境から低温環境へ移行し、さらに天然有機物を栄養源とする培地から石油系燃料油を唯一炭素源とする培地に移して培養しても遅滞期が観察されない事実は、これらの菌が低温においても高い石油系燃料油分解性を発現することを示すものである。

3. 分離菌の安全性評価

本菌は、ガソリンスタンド跡地のような小規模事業所跡地などの石油系燃料油汚染土壌の微生物的浄化への利用を目的とすることから、最終的には屋外開放系での使用態様が想定され、微生物的安全性が保証されなければならない。このためマウスを被検動物として本菌の長期毒性および急性毒性について検討した。長期毒性は、TW-1 株および TW-2 株を混入した餌（約 10³-菌細胞/g-餌）をマウスに投与し、また急性毒性は、これらの菌株を懸濁した生理食塩水 0.2ML（約 5x10³-菌細胞に相当）をマウス腹腔に注入して調べた（Fig.2）。前者において



Fig.2 Studies on acute toxicities of isolates

は 1 ヶ月間にわたる試験においても対象群（TW-1 株および TW-2 株を投与していない群）との間に有意な体重変化や脱毛などの病態は観察されず、また被検マウスを解剖して血液や肝臓、胃などの臓器の生化学検査を行ったが¹³⁾、対象群に比較して炎症発生や酵素活性変化は認められなかった。さらに後者においては菌懸濁液注入による被検マウスの死亡はなかった。以上から、本菌株を屋外などの開放系において用いることの安全性が確認された。

4. 実験室における石油系燃料油の浄化試験

次いで、園芸黒土を人為的に灯油で汚染して実験室規模の汚染モデル系を作成し、本菌による浄化試験を試みた。すなわち、あらかじめオートクレーブで内在性微生物を滅菌した約 10kg の園芸黒土に約 0.2%（v/w）の市販灯油、ならびにいずれも重金属濃度として 300mg/kg-土壌に相当する塩化亜鉛（ZnCl₂）、塩化鉄（FeCl₂・6H₂O）、および硫酸銅（CuSO₄・5H₂O）の水溶液を添加して攪拌し、モデル汚染土壌（被検土）とした。これに LB 培地で一夜培養した TW-1 株および TW-2 株の混合懸濁液を 10³-菌細胞/kg-被検土となるように散布して攪拌し、アルミホイルなどで覆って中温域あるいは低温域に保持した。所定の期間後に約 10g の被検土を採取して公定法¹⁴⁾にしたがってヘッドスペース法-FID ガスクロマトグラフィ法で分析し、クロマトグラムにおけるピーク総面積の減少から残存灯油量を測定した。Fig.3 にモデル汚染土を 15℃に保持した場合のクロマトグラムの例を示した。クロマトグラムのピーク面積の総和は処理日数の経過にともなって減少し、また保持時間 3.2 分に検出される未同定物質のピーク面積、およびトルエン（保持時間 2.4 分）のピーク面積の減少が顕著であった。また Fig. 4 に 15℃における経時的測定結果をまとめたが、試験開始後 2 週間が残存灯油濃度は速やかに減少し、その後 2 週間は初期濃度の約 50%（対照系における揮発などの自然減少を差し引いた実質減少は約 60%）にまで緩

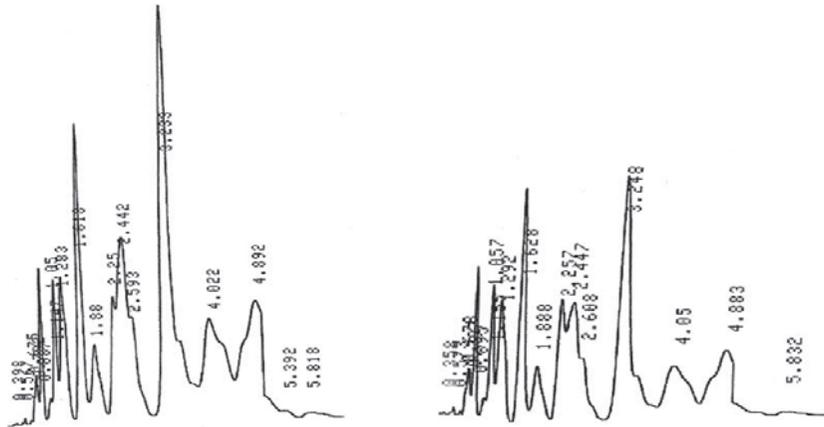


Fig. 3 Chromatograms of head-space and gas-chromatographical procedures

Days for treatment; (a) 0d, (b) 14d. B, T, or X; benzene (retention times 1.2 min), toluene (2.4 min), or hexane (4.8 min), individually.

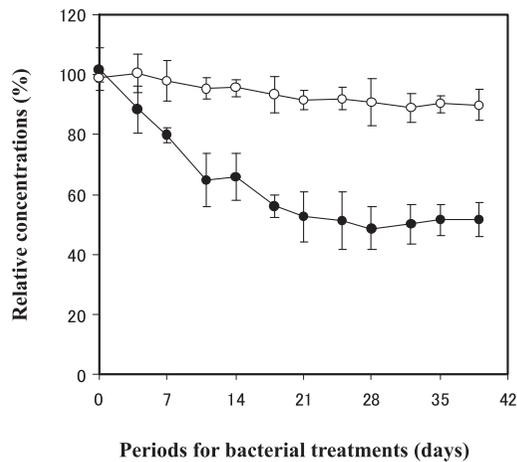


Fig. 4 Decrease of oil concentrations in flask-scale experiments

○; control systems without bacteria, ●; experimental systems with bacteria.

Error bars indicate the standard deviation obtained from three independent experiments.

やかに減少して4週以降は定常状態となった。一般的な微生物は20℃以下の低温域では代謝活性を失って死滅し、あるいは休眠状態となることを考慮するなら、これらの結果はTW-1株およびTW-2株が低温においても石油系燃料油分解活性を維持し、さらにその活性は高濃度の重金属を含有する土壤中においても発現することを示すものである。なおデータは示さないが、上記の試験において土壤に存在する総菌数を寒天平板法で調べたところ、コロニー数から推定される菌数は試験開始直後から緩やかに減少しはじめ、試験開始4週後には10-菌細胞/10g-被検土以下であった。この結果は、その理由

は不明であるものの、灯油分解菌であるTW-1株およびTW-2株の菌数は石油系燃料油汚染土壤中では減少することを示すものであり、したがってTW-1株およびTW-2株の生菌数が減少した時点でこれらの菌を追加投与するなら、さらに浄化反応が進行することも示唆される。

5. 屋外における試験

次いで屋外に試験槽（強化プラスチック製、横：3.6m x 縦：1.5m x 高さ：1.5m）を設置し、約1mの厚さに土（被検土）を入れた後、被検土の約0.2% (v/w) となる



Fig. 5 Construction of experimental tabs (a), and artificial pollution of soils with petroleum (b).

ように市販灯油を表面に散布し、50cmの厚さに覆土した (Fig.5)。なお被検土および覆土は、試験槽を設置した箇所 (十数年間にわたって使用していない空地) の表土をオートクレーブ滅菌せずに用いたが、73mg-亜鉛/kg-表土、187mg-鉄/kg、および88mg-銅/kgを含有していた。

試験は平成19年4月下旬から5月下旬まで行い、この間の平均外気温は18.1℃、深さ40cm並びに90cmにおける槽内土壌平均温度はそれぞれ19.3℃並びに19.6℃であった。なお降雨の影響を除外するため、試験槽をシートで覆った。また予備試験の結果、2週後には散布灯油の沈下は停止して深度90cmにおける被検土の灯油濃度が定常となった。この結果から、試験槽に灯油を散布した後の2週は放置し、その後、覆土表面にTW-1とTW-2の混合培養液 (約 10^3 -菌細胞/kg-土壌に相当) を散布した。所定の期間後、簡易ボーリングして深度90cmの

土壌を採取し、前述のヘッドスペース法とFIDガスクロマトグラフィ法で分析した。その結果をFig.6に示したが、TW-1株とTW-2株の混合培養液を散布した後3週間で残存灯油量は初期灯油量の約40% (対照系の自然減少を差し引いた実質減少は約60%) にまで減少した。上記の試験結果からすれば、分離した2菌株を汚染が存在する個所の表土あるいは表土近くに直接的に低濃度で散布することにより、短期間に汚染を浄化することが期待される。以上から、本法による汚染浄化の実地試験を行った。すなわち深度1m~3mの土中に2~7m³にわたる石油系燃料油 (ガソリンと灯油) 汚染が複数のポイントとして存在する北海道内小規模事業所跡地を実地試験地として選択した。それぞれの汚染ポイントの表土約50cmを重機で機械的に除き、TW-1株およびTW-2株の混合培養液 (10^2 -菌細胞/ML-MS培地) を500ML/m²で散布した後、先に取り除いた表土で覆土した (Fig.7)。

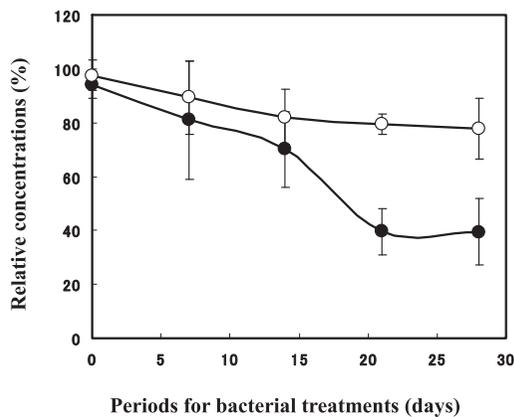


Fig. 6 Decrease of oil concentrations in the tab-scale experiments

○; control systems without bacteria, ●; experimental systems without bacteria.
Error bars indicate the standard deviation obtained from three independent experiments.



Fig. 7 Set-up of experimental field

(a); Taking off the surface soils, (b); scattering the soil with bacterial suspension.

Table 3 Decrease of oil concentrations in a field-scale experiments

Sites	Depth (cm)	Relative concentration of oils ¹⁾		Ratios ²⁾ (%)
		Initial	residual	
A	50	1,200	890	25.8
B	50	620	520	16.1
C	50	1,010	810	19.8
D	50	1,100	870	20.9
E	50	750	710	5.3
E	100	630	350	44.4
E	150	1,800	990	45.0
E	200	2,100	1,700	19.0
E	250	3,700	1,100	70.2

1) The sum of peak areas measured by head-space and FID-gaschromatography procedures.

2) $100 - \{(\text{the sum of peak-areas after bacterial treatment} / \text{the sum of peak-areas before bacterial treatment}) \times 100\}$

なお試験期間中（平成 19 年 8 月下旬から 9 月下旬）の合計降水量は 24mm であり、また平均気温は 23.1℃、深さ 50cm の平均土温は 23.7℃であった。またいずれのポイントにおいても、深度 50cm の土壤に平均 150mg/kg の鉄が存在した。試験結果を Table 3 に示したが、菌液散布 30 日後には最大で約 70%の浄化が可能であった。なお、この試験においては対照区（菌を投与していない区）の設置が困難であったので揮発などによる自然減少量が不明であり、したがって投与菌による実質的浄化率は Table 3 に示す浄化率よりも低値になると推定されるが、Fig.4 に示した実証試験槽における成果を考慮するならば TW-1 株および TW-2 株の有意性が強く示唆される。

6. おわりに

本稿で紹介した *Pseudomonas* TW-1 株および TW-2 株は培養が極めて容易な耐冷菌であり、また高濃度の重金属を含有する土壤であっても汚染個所表土あるいは表土付近に散布する簡便な作業によって短期間に有意な石油系燃料油浄化効果を挙げられることが特徴である。

もとより本法は石油系燃料油で汚染された小規模事業所跡地の浄化を目的に開発された技術であるので大規模汚染個所に適用できるものではなく、また当該菌株による石油系燃料油分解機構の生化学的詳細についても今後の研究を待たなければならないが、新たなバイオレメディエーション法の一例として興味深い。

なお本研究の一部は、平成 16 年度（財）北海道科学技術総合支援センター「微生物を利用する石油系燃料油汚染土壤の浄化」および平成 17 年度（独）科学技術振興機構「シーズ育成試験：特異的鉱物油分解菌の探索と土壤浄化への応用」に対する研究助成金によって実施した。

References

1. S. Kikuchi eds. : *Bioremediation*, Biseibutsu Kougaku, Sankyou Shuppan (Tokyo), pp.91-102 (2004)
2. M. Kubo : *Biseibutsuryou Chousei, Iji ni yoru Sekiyuukei Osen Dojou no Kouritutsu Jouka Gijutsu*, Dojou,
3. Chikasui Jouka oyobi Shufuku Gijutsu, N. T. S. Shuppan

- (Tokyo), pp.193-205 (2008)
4. O. Yagi : *Seibutsukagakuteki Joukahou ni yoru Jouka Gijutsu*, Dojou, Chikasui Jouka oyobi Shufuku Gijutsu, N. T. S. Shuppan (Tokyo), pp.47-58 (2008)
 5. M. Aoki : *Hiteikei Kousankin no Ekigaku*, Rinshou, 7, 7, pp.1650-1652 (1981)
 6. S. Kikuchi eds. : *Biseibutsu no Zoushoku to Baiyou*, Biseibutsu Kougaku, Sankyō Shuppan (Tokyo), pp.21-25 (2004)
 7. A. Mizutani, H. Souma, Y. Tanaka, M. Shimazu, T. Toyama, Y. Chang, S. Kikuchi : *Reiza Shousha ni yoru Koukinsei Sankachitanzai no Sakusei to Kaiyo Osonseibutsu Fuchaku Boujyo eno Ouyou*, Kankyo Gijutsu, 35, 10, pp.756-762 (2004)
 8. S. Kikuchi, M. Fukumoto, H. Takahashi : *Iron Storage in Mycobacterium smegmatis under Iron-sfficient and Iron-overload Conditions*, Bioscience, Biotechnology & Biochemistry, 58, 5, pp.885-888 (1994)
 9. A. Mizutani, S. Kitayama, H. Hara, Y. C. Chang, T. Toyama, Y. Hasegawa, S. Kikuchi : *Kougousei Saikin ni yoru Nousan Haikibutsu kara no Seiri Kassei Busshitsu Seisan*, Mizushori Gijutsu, 48, 2, pp.49-54 (2007)
 10. A. Mizutani, K. Un-no, N. Takahashi, H. Narita, T. Nagahara, K. Musha, K. Fujii, S. Kikuchi : *Biseibutsu o Riyō suru Suisan Haikibutsu no Shigenka*, Mizushri Gijutsu, 45, 12, pp.551-555 (2004)
 11. S. Kikuchi eds. : *Biseibutsu no Zoushoku to Baiyou*, Biseibutsu Kougaku, Sankyō Shuppan (Tokyo), pp.29-35 (2004)
 12. S. Kikuchi and M. Ishimoto : *A D-Serine Dehydratase Acting also on L-Serine from Klebsiella pneumonia*, Journal of Biochemistry, 84, 5, pp.1133-1138, 1978.
 13. S. Kikuchi and M. Ishimoto, *Nitrate respiration of Klebsiella pneumonia on amino acids, especially on serine*, Zeitschrift für Allgemeine Mikrobiologie, 20, 6, pp.405-413 (1980)
 14. Y. Yamamura : *Kouso to Kousoshindan*, Byouri Seikagaku, Iwanami Shoten (Tokyo), pp.18-43 (1971)
 15. Dojou Kankyo Senta ed. : *Kankyoushou Abura Osen Gaidorain*, Kagakunipposha (Tokyo), pp.99-115 (2006)

日鐵セメント(株)の環境産業への取り組み¹

小崎 洋一²・新田 将人²・青山 元樹²

Nittetsu.Cement's approach on the environmental industry

Yoichi KOSAKI, Masato NITTA and Motoki AOYAMA

Nittetsu Cement Co., LTD.

Abstract

Recently social interest to environmental problems have increased more and more. Therefore, the appropriate correspondence of waste disposal is required in all fields. The service of related laws and regulations are advanced and development of recycling resource processing and reuse technology are advanced.

The cement industry is using industrial waste and the by-product generated from another industry so far as raw materials and heat energy, and the amount of processing in fiscal year 2007 reaches about as much as 30.7 million tons in the meantime.

Our company also positively accepts by-products including the blast furnace slag and the coal ash and industrial waste in Hokkaido, and has been playing a part in the recycling society construction in the region.

Here, including also the trend regarding the resource circulating business of cement industry it introduces approach of own company.

Key words: Cement, Environment, Industrial waste, Resources Recycle

1. 緒 言

近年、環境問題への社会的関心がますます高まる中で廃棄物処理の適切な対応が国、都道府県、各自治体、民間のあらゆる分野で求められ、関係法規の整備やリサイクル資源処理および再利用技術の開発が進められている。しかし、こうした地球環境への配慮や循環型社会形成への適合が求められている現在でも尚、「大量生産、大量消費、大量廃棄」型の社会から完全には脱却できていない。2006年度の全国の産業廃棄物の総排出量は、約4.2億t、一般廃棄物の総排出量は、約0.5億t、合計約4.7億t¹⁾が有効利用されずに排出されており、廃棄物処分場のひっ迫、それに伴う不法投棄の問題が深刻化してきているのが現状である。

こうした中で、セメント産業は従来より他産業から発生する廃棄物や副産物を原燃料として利用してきており、

2007年度の入受は約3,070万tにも達している。

当社においても、高炉スラグや石炭灰をはじめとする副産物や、北海道内の廃棄物を積極的に受入れ、原燃料化し、地域の循環型社会構築の一翼を担ってきた。ここでは、セメント業界の資源循環事業に関する動向も含めて当社の取り組みを紹介する。

2. セメント産業の概観

2.1 セメント産業で利用している廃棄物・副産物

セメント生産量は、1996年にはバブル景気の余韻で過去最高の9,927万tを記録したが、その後景気の低迷に伴う減少が続き、2003年は5,886万t、2007年度は5,458万tとこの5年間で428万t(7.2%)も落ち込んでいる。しかし、廃棄物・副産物の使用量は、セメント生産量の減少とは逆に増加傾向をたどり、この5年間で約365万t(13.4%)も増加した²⁾。また、セメント1t当たりの原単位も99年に立てた「2010年に原単位400kg/t」の業界目標を6年早くクリアした。これは、2003年に「土壌汚染対策法」が施行されたことにより、建設発生の処理量が急増したことや、廃棄物の事前処理技術の開発

1. 平成21年6月11日 本会第122回例会において発表

2. 日鐵セメント株式会社 資源リサイクル部
平成21年2月27日受理

Table 1 Amount of wastes and by-products used in cement industry

(Unit : 1,000 tons)

Type	Used for	FY2002	FY2003	FY2004	FY2005	FY2006
Blast furnace slag	Raw materials, Admixture	10,474	10,173	9,231	9,214	9,711
Coal ash	Raw materials, Admixture	6,320	6,429	6,937	7,185	6,995
Sewage sludge, Sludge	Raw materials	2,286	2,413	2,649	2,526	2,965
By-product gypsum	Raw materials(Additive)	2,556	2,530	2,572	2,707	2,787
Waste soil from construction	Raw materials	269	629	1,692	2,097	2,589
Non-ferrous slag	Raw materials	1,039	1,143	1,305	1,318	1,098
Incineration ash excluding coal ash	Raw materials, Heat energy	874	953	1,110	1,189	982
Foundry sand	Raw materials	507	565	607	601	650
Steel slag	Raw materials	803	577	465	467	633
Wood chips	Raw materials, Heat energy	149	271	305	340	372
Waste plastics	Heat energy	211	255	283	302	365
Recycled oil	Heat energy	252	238	236	228	249
Waste oil	Heat energy	100	173	214	219	225
Waste white clay	Raw materials, Heat energy	97	97	116	173	213
Coal mining waste	Raw materials, Heat energy	522	390	297	280	203
Waste tire	Raw materials, Heat energy	253	230	221	194	163
Meat and bone meal	Raw materials, Heat energy	91	122	90	85	74
Others	—	435	378	452	468	615
Total	—	27,238	27,566	28,782	29,593	30,889
Consumption per ton of cement(kg/t)	—	361	375	401	400	423

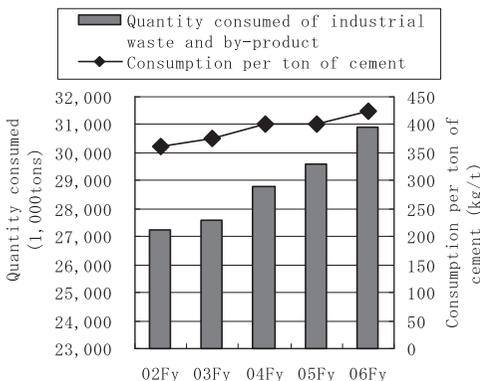


Fig. 1 Amount of wastes and by-products used for production of one ton of cement

や操業技術などの様々な工夫で増量を図ってきた結果である。Table 1 にセメント産業で利用している廃棄物・副産物の使用量、Fig.1 にセメント 1t 当たりの使用量(原単位)を示す²⁾。

2.2 セメント産業における廃棄物利用の特徴

セメントの製造工程は、大きく分けて「原料工程」、「焼成工程」、「仕上工程」の3工程からなるが、廃棄物のほとんどが「原料工程」と「焼成工程」で利用されている。「原料工程」では、最終製品であるセメント品質を満足させるべく、廃棄物の物性を事前に調べてクリンカーの調合設計を行い、他の原料とともに配合されている。その際、カドミウム、クロム、鉛等といった重金属類をはじめとした微量成分は環境、人体及びセメント品質に影響を及ぼさないレベルにコントロールされている。「焼成工程」では、他の原料とともに、1,450℃の

高温で焼成され、有機物はすべて燃焼、分解するため肉骨粉などのたんぱく質も完全に分解してしまい無害化される。また、ダイオキシン類の発生も非常に少なく、排ガス中のダイオキシン類濃度は、大型新設焼却炉基準の10分の1程度である。

3. 日鐵セメントの概況

3.1 廃棄物・副産物の利用状況

当社は、1954年(昭和29年)に設立、新日本製鐵室蘭製鉄所から副生する高炉スラグを主原料とした「高炉セメント」を主体に、青函トンネル工事で脚光を浴びた「微粒子注入材コロイド」等の特殊セメントも含め、品種構成の幅を着々と広げ、半世紀以上に渡り北海道の社会基盤整備の強化に貢献してきた。現在のセメント生産量は、約200万tの生産能力に対して約100万tとセメント産業全般の推移と同じく減少傾向にあり、キルン2基のうち1基は休止中である。

当社の廃棄物処理は、1992年に産業廃棄物中間処理業と焼却処理施設の許可を取得したところから本格的に開始した。当初、年間6万t前後の処理量で石炭灰が大半を占めていたが、北海道の胆振管内を中心とした各企業から発生する汚泥、スラッジ、廃触媒と、廃プラスチックなどの処理が増えて2007年度は約25万tの処理を行った。廃棄物のみセメント1tあたりの使用量は231kg/t、副産物とあわせた原単位は、セメント協会の2010年の目標値400kg/tを大きく上回る500kg/tに達している。Fig.2に当社の廃棄物の使用状況を示す。

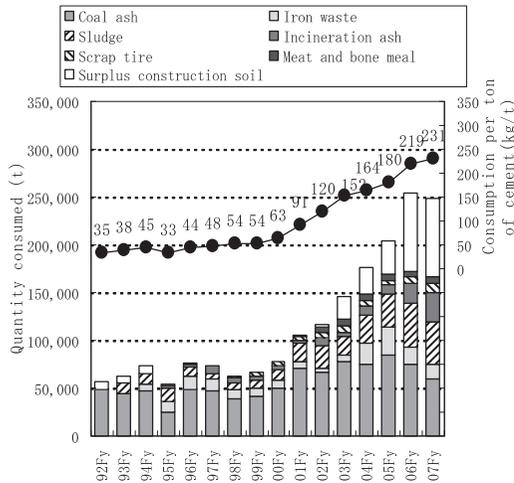


Fig. 2 Trend of the amount of wastes used in Nittetsu Cement Co., LTD.

3.2 廃棄物利用の特徴

「原料系廃棄物」としては、10年前は石炭灰が約5万tと全体の約50%を占めていたが、近隣工場で発生する集塵機灰や、2002年からは、近隣の市町村の下水汚泥（水分80%の脱水生汚泥）を受入れており、最近では建設発生土や、製糖会社のライムケーキなどの利用も進んでいる。また、廃棄物の増量に伴い、主に廃棄物からもたらされる塩素分がセメント製造設備の予熱装置系内に循環して濃度を上げ操業に悪影響を及ぼし始めたため、2003年に系外に塩素を抜き出す「塩素バイパス装置」を設置して塩素の影響を緩和した。

「燃料系廃棄物」は1998年から廃タイヤを、2002年からは肉骨粉を受入、2006年からは廃プラスチックを受入している。これらの使用量はカロリーベースで石炭使用量の20%弱を代替している。今後も環境貢献に加え、エネルギー情勢の変動、石炭需給変動への対応を鑑み、廃棄物等の代替燃料を調査・検討している。

高炉スラグの活用や廃棄物のリサイクルは省エネルギー、CO₂低減に加え、天然資源の消費抑制や廃棄物最終処分場の延命にも寄与している。

3.3 更なるリサイクル資源活用当たりの課題

1) 廃棄物・副産物を活用したセメント製品の需要拡大
資源循環型社会の構築には、エコプロダクト（出口）の確保が不可欠である。

① 海洋保全や農業基盤整備に関する北海道の基本計画とリンクした事業展開

- ・ 海洋資源再開発の大型漁礁、藻礁の開発・施工
- ・ 海岸侵食防止の人工リーフ開発・施工
- ・ 磯焼け、浜焼け対策への展開
- ・ 食料自給率向上に向けた灌漑用水整備

などへの高炉スラグ高配合セメントの利用応用技術の産官学一体となった開発の推進

② 北海道新幹線向けコンクリート混和材への利用

北海道新幹線のトンネル新設工事で、採掘後の内壁に高品質コンクリート吹き付け工事用として、当社が開発したスラグと石炭灰を主原料とした混和材が、2008年より使用された。今後も、地元の副産物を活用した製品及び用途開発に取り組む。

2) 製品品質の確保

近年、廃棄物・副産物の使用量増加に伴い、これらに付随する微量成分・重金属に留意し、各種セメントの品質確保のため、廃棄物・副産物の成分把握と使用技術の向上に一層力を入れていく必要がある。

4. まとめ

本報告では、セメント産業の環境問題への取り組み概要と当社の状況と課題について紹介した。

当社は、北海道を基盤とするセメント会社として、自然豊かな大地・環境を将来に継承していく責任があり、資源循環型社会の形成を推し進める産業活動を継続的に発展させていく必要があると考えている。今後とも廃棄物・副産物の更なる利用拡大技術の向上に努める。

References

1. Homepage of the Ministry of the Environment of Japan (2008)
2. Homepage of Japan Cement Association (2008)

日本製鋼所室蘭製作所の歩みと風力発電事業への取り組み¹

唐牛 敏晴²

Brief History of The Japan Steel Works, Ltd. Muroran Plant and its Approach on Wind Power Generation Business

Toshiharu KARAUSHI

The Japan Steel Works, Ltd.

Abstract

Construction of the Japan Steel Works' first steel mill, the Muroran Plant, was completed in 1907 on reclaimed land off Bokoi Beach facing the natural harbor of Muroran. The Muroran Plant built up an excellent reputation for technological know-how as Japan's largest civilian ordnance manufacturer, and following the end of World War II, it swiftly converted to private-sector demand. The company enjoys a worldwide reputation as a maker of materials and components, supplying large forged and cast steel products, steel plates, pressure vessels, and a wide range of industrial machinery.

A wind power generation system attracts attention as the use of inexhaustible energy resources existing in nature, and the introduction of wind power generators is expanding all over the world. JSW Muroran Plant has been pushing forward the development and design on a wind power generator, cooperating with an European company. This wind power system equips with permanent magnet synchronous generators and is greatly expected to conform to environment conditions of Japan and other Asian countries.

Key words: Forging and casting, Energy industry, Renewable energy, Permanent magnet synchronous generator, Gearless drive

1. 日本製鋼所室蘭製作所の歩み

1.1 創業から終戦まで

日本製鋼所は1907年(明治40年)11月1日、大型兵器国産化のための高級特殊鋼および兵器を製造する製鋼所として、半ば国家的に室蘭の地に設立され、50トン平炉及び4,000トン水圧鍛錬機、各種大型精密工作機械等を完備して大型火炮を中心とする兵器製造を開始した。

第一次世界大戦時の帝国陸海軍の軍備増強に伴って業績を伸ばすと共に、大型鋼塊の脱ガス技術や塩基性平炉による脱リン技術などの開発を行い、後の大型鋳鍛鋼品製造のための礎を築いた。また、あまり知られていないことであるが、1918

年(大正7年)にはわが国初の1918年(大正7年)にはわが国初の100馬力航空機エンジンを製造している。

戦前の主用製品としては、戦艦「陸奥」に搭載された40センチ砲などの大型火炮がよく知られているが、それと共に鉄道車両用鋳鍛鋼品など、戦後の主要製品群の萌芽となる新製品も生まれている。

1.2 戦後の高度成長期と技術の拡大

戦後はそれまで培ってきた鋳鍛鋼品製造技術を生かして民需転換を図った。鋳鍛鋼品では産業復興の機運に乗って水力発電用ランナーなどの鋳鋼品、火力発電用ローターシャフト、船舶ディーゼルエンジン用クランクシャフトなどの鍛鋼品を生産した。更に、鉄鋼業界向けに各種圧延機用の鋳鋼ロール、鍛鋼ロール及びロールスタンドといった大型鋳物の供給を開始し、電機用部材・船舶用部材・製鉄機械用品といったラインナップを揃えていった。鋼板については、ボイラー鋼板や

1. 平成21年6月11日 本会第122回例会において発表

2. (株)日本製鋼所室蘭製作所
平成21年2月25日受理

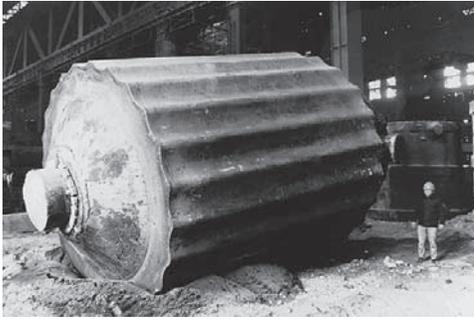


Fig. 1 Ingot of 600 tons

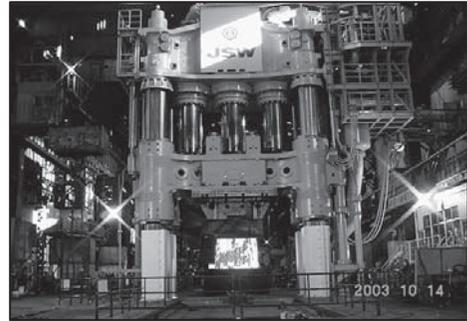


Fig. 2 Free forging press of 14,000 tons

船体用鋼板などの厚板に加えて、ステンレス鋼板と炭素鋼板とを熱間圧延によって接合するステンレスクラッド鋼板を開発した。また、原子炉圧力容器鋼板の製造に着手し、東海村に建設された日本初の原子炉用とその鋼板を納入したことがきっかけとなって原子炉用部材の本格的な製造に参入することとなった。

石油精製用高压反応容器の製造にも参入し、容器長手方向に溶接線を持たない、鍛鋼リング製高温高压水素添加分解反応用の大型肉厚反応容器を製造できることで、世界の石油会社の信頼を得、シェアを拡大していった。

高度成長期には、エネルギー機器の大型化による高効率化が図られたため、特に発電機用ローターシャフト・原子力圧力容器部材・石油精製用圧力容器など鍛鋼品の大型化が進んだ。同時に種々の国際規格に代表されるこれら部材の高信頼性化の動きも進んだことから、これらの要求に応える形で製鋼・鍛錬・熱処理・機械加工などの製造技術が相次いで開発されることとなり、世界に類を見ない高品質大型鍛鋼品の一貫製造体制が築かれた。Fig.1に大型鍛鋼品の源となる600トン鋼塊の外観を示し、Fig.2に14,000トンプレスによる鋼塊の鍛錬作業状況を示す。

21世紀を迎えて以降は、エネルギー関連分野の選択と集中による事業骨格の再構築を推し進めており、「エネルギーと環境を見据えたものづくり」を製作所の基軸ベクトルと定め、鍛鋼・クラッド鋼板などのコア事業の強化と新エネルギーをキーワードとした風力発電事業などの新規事業の開発に取り組んでいる。

2. 風力発電事業への取り組み

2.1 風力発電の現状

昨今のエネルギー情勢は、エネルギーの安定供給と地球温暖化に代表される地球環境問題に集約され、本来、新エネルギーは安定供給すなわち石油代替エネルギーの普及を目的にその導入が促進されてきたが、地球環境問題の対応に資することから環境にやさしいエネルギーとしてもその取り組みが進

んでいる。

新エネルギーの中でも発電コスト等の経済性、設備利用率等の効率性、二酸化炭素排出量などの環境性に比較的優れている風力発電は、発電機の大型化、施設の大規模化（ウィンドファーム）に伴って、再生可能エネルギーの主役として1990年代後半から特に欧米を中心に急速に導入が進み、2007年末現在での世界の風力発電総設備容量は約94,000MWとなっている。今後は、中国、インドを中心としたアジアでの導入量の急増、欧米での継続的な増加が予想され、風力発電が世界的に拡大する様相を呈している。

国内においては、新エネルギーの積極的な導入促進を図るべく1997年に施行された「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」が政策的支援対策として風力発電の導入を助長し、2007年末での発電総設備量は約1,700MWに達すると共に、単機当りの出力も2MW時代に入り、2010年に3,000MWの導入を目指す日本の風力発電目標規模が見えてきた。

2.2 風力発電の技術課題

国内における風力発電の現状の技術課題は以下の3項目に大別される。

①風力発電の発電コストは、新エネルギーの中では比較的 low コストであるが、既存の火力発電などによるコストと比較した場合まだコスト高であり、建設費の低減、設備利用率、稼働率の向上による発電量の増大に対応できる風力発電装置が要求されている。

②風車は常に風を受けて回転するため、年間の平均風速の大小は風車の疲労強度に大きく影響する。日本を含むアジア地区の風況は年間を通した平均風速は低く、台風等による極値風速は高いという特徴があり、また、冬季には日本海側を中心に雷撃エネルギーの大きい冬季雷が発生する。これら日本固有の気象条件に対応できる日本型風力発電システムの構築が必要とされている。

③風力発電は、風の強弱によって出力が変化するため、大規模に導入した場合は電圧変動や周波数変動により電力品質が悪化し、電力消費者へ悪影響を及ぼす可能性がある。また、

日本の風力発電の適地は送電系統の弱い地域が多いことから、系統への影響が少ない風力発電装置が望まれている。

2.3 当社の取り組みとねらい

当社では、平成12年に600KW風力発電装置用タワーの製造を開始して以来、継続して大型風力発電装置用タワーを製造して国内顧客に供給すると共に、欧州メーカー製風力発電装置の販売、及びその風力発電装置を用いた発電所の建設と業容を拡大してきた。

これらの業務経験を生かして、今後成長が見込める風力発電装置及びブレードを自社製品化すべく検討を重ねてきた結果、ブレードは平成17年10月から室蘭製作所内で製造に着手し、発電装置に関しては多極永久磁石励磁同期発電機の技術導入をベースに自社技術化を完了し、前述した風力発電の技術課題を解決しながら国内の諸条件に合致した風力発電装置を供給すべく事業展開を図っている。

以下にアイテム毎の取り組み状況、特徴を述べる。

1) タワー

平成12年の第1号機に始まり、平成14年から量産体制による本格的な製造を開始し、国内向け1500KW風力発電装置用タワーを中心に現在までに約130基の製造実績を有している。1,500KW用タワーは、ハブ高さ65m、最大径4,100mm、重量約90Tの3分割鋼製モノポール構造であり、塩害にも耐えられる重防食塗装が施されている。

設計、部品調達、製缶溶接、機械加工、塗装・溶射、内部部品組立、出荷輸送までの一貫した製造を長年培われた搭槽製品の製造技術をベースに行い、更に、日本固有の台風等による極限風速、及び地震に対しても十分安全な設計基準を適用しており、市場から高い技術評価を受けている。

2) ブレード

オランダからの技術導入をベースとして平成17年10月からブレード生産を開始しており、現在までに長さ34m及び40mのブレード約200枚の製造実績を有している。ブレードはグラスファイバー繊維とエポキシ系樹脂を複合的に組み合わせたFRP製の堅牢で最大空力特性を求めた設計になっていると共に、日本の台風環境を考慮した耐風速70m/s仕様としている。また、ブレード先端部に大容量の着雷部を設け

ることにより、日本の冬季雷のような電気容量の大きな雷に対して、熱に交換することでブレードの損傷を防止する対策を講じている。

ブレードは完全自社製であることから、保守、修理、交換には迅速な対応が図れると共に、製造方法としてはMoldを利用したRIM法（樹脂注入成形法）を採用しているため安定した製品品質が確保できる。Fig.3に完成ブレードの保管状況を示す。

3) 風力発電装置

多極永久磁石励磁同期発電機を用いた風力発電装置の基本技術を欧州から導入し、これに前述したタワー、ブレードを装備した自社製風車システムの製造、販売を平成19年度から本格的に開始した。Fig.4に室蘭製作所埠頭に設置されている2,000KW風車商用第1号機（J82）の外観を示し、Fig.5にその構造図を示す。

この風力発電装置は多極永久磁石励磁同期発電機を搭載しているため、系統にとって負担となる突入電流の発生がほとんどなく、また、風速の強弱に合せた可変速運転が可能で、



Fig. 3 Blades for wind turbine



Fig. 4 Wind turbine of 2,000KW (J82)

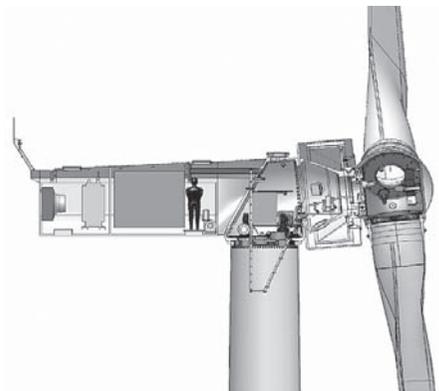


Fig. 5 Illustration of J82 wind turbine

短周期の電圧変動を極力おさえるようにしているため系統への影響が少ない風車である。

また、ギアレス直接駆動の発電装置で、動く（回転する）部品を可能な限り少なくしているため、故障発生の確率を減少させ、また保守点検の頻度を減すことが可能であることから設備利用率、稼働率の向上に繋がり、発電量の増大に寄与できる。

前述の通り日本を含むアジア地域の風況は年間を通した平均風速は低く、極値風速は高いということを考慮し、本風力発電装置では、疲労強度に対する設計と極値風速に対する設計をそれぞれの条件に合うように合理的に行っており、地域

の風況に適合させると共に、経済性の向上も合わせて狙ったものである。

以上、当社の風力発電に対する取り組み状況について述べたが、これに加えて、研究開発本部室蘭研究所を中心として風況精査・解析技術の精度向上等に関する研究開発も幅広く展開しており、自社風力発電技術のグレードアップを図りながら、社内において拡大製品と位置付けられている風力発電事業の安定化を確立すると共に、国内風力発電の更なる発展に寄与したい。