

マンガン団塊採鉱システム

— 開 発 の 現 状 —

Manganese Nodules Mining System

飯 沼 孝 雄*

Takao Iinuma

はじめに

深海底に賦存するマンガン団塊の採鉱を目的として、当技術研究組合が工業技術院から委託を受けて実施している「マンガン団塊採鉱システム」の研究開発は、昭和56年度から同60年度までの5年間に、要素技術の開発と機能確認実験、各種シミュレーションによる性能解析等の基礎研究を行い、その結果をもとに基本設計を終了した。

昭和61年度以降は、海洋総合実験を目的とする実機（実験船体を含む。）の詳細設計及び製作の段階に入っている。

なお、基礎研究については昭和59年以降、次の如く3回にわたり成果発表会を開催し、研究内容の紹介を行った。

- ① 59. 6. 22. 於 工業技術院筑波研究センター
- ② 60. 6. 11. 於 大阪科学技術センター
- ③ 61. 11. 12. 於 新橋住友ビル（東京）

1. マンガン団塊の賦存量と含有金属

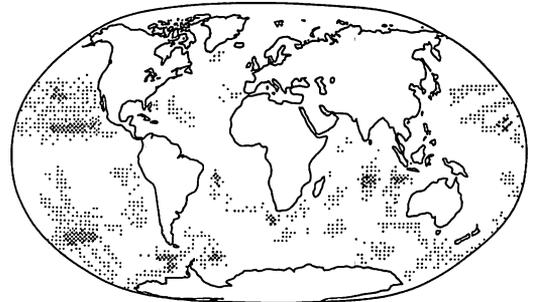
1.1 マンガン団塊の産状等

マンガン団塊は、北極海、南極海も含めて全世界の海洋底（淡水湖の例もある。）に賦存しており、日本周辺の海域（小笠原、沖縄諸島沖等）にも見られる。（図-1参照）

これら賦存地域の中で、現在、各国が開発の対象として注目しているのは、ハワイ東南方の海域で、通称「マンガン銀座」と呼ばれている。

この地域のマンガン団塊は、他地域に比べて、賦存量及び品位の点で格段に優れている。

マンガン銀座は、模式図で示すと図-2のようになり、クラリオン断裂帯とクリッパートン断裂帯に囲まれた約1,300万km²の面積（日本の面積37万km²の約35倍）を有



■ 賦存海域 ※ 高密度賦存海域

図-1 マンガン団塊の分布図 (D. C. Cronan 1981)

している。

マンガン銀座の中に示されるA, B, Cは、過去に国際コンソーレียมがマンガン団塊の採鉱実験を行った海域である。

この地域のマンガン団塊は、深海底の軟らかい堆積層の表面に半ば埋没し、玉砂利を敷きつめたような状態で賦存しており、大粒径のものも見られるが、通常直径1~10cmの大きさのものが大部分を占めている。

形状は、粒状、ハンバーグ状、じゃがいも状を呈する濃黒灰色の塊で比重は約2である。

マンガン団塊の断面には、恰も木の年輪のような縞模様が見られ、中心核（微細な岩石片、サメの歯、クジラの耳石など）の周囲を層状にとり巻いており、長年月の間に成長したものとされている。

成長速度については、放射性同位元素を利用する測定方法などが発表されており、深海海底で採取されたサンプルでは100万年当り0.3~30mm程度（平均約10mm）、一方、浅海底での成長速度は100万年当り10~1,000mmと報告されている。

1.2 マンガン団塊の含有成分と賦存鉱量

マンガン団塊に含まれている成分は、名称の示すとおりマンガンのほか種々の成分が含まれている。

現在、判明しているものは、マンガン、コバルト、ニッケル、銅、鉄、モリブデン、チタン、バナジウム、

* 技術研究組合マンガン団塊採鉱システム研究所専務理事
〒104 東京都中央区銀座5-11-13ニュー東京ビル

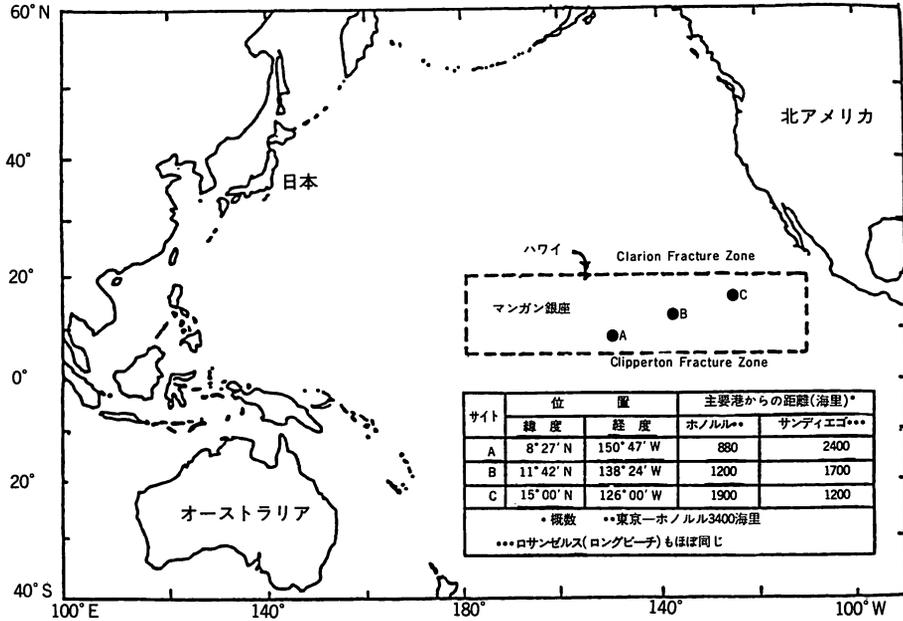


図-2 マンガン銀座 (C-C Zone)

表1 マンガン団塊の賦存鉱量と含有金属量

賦存鉱量	A. A. Archer (1977) 注1		陸上資源(1982) 注2
	230 億トン		
品位/含有金属量	品位(%)	含有金属量(億トン)	含有金属量(億トン)
Ni (ニッケル)	1.26	2.9	0.56
Cu (銅)	1.00	2.3	5.11
Co (コバルト)	0.25	0.6	0.03
Mn (マンガン)	27.5	63.3	49.0

注1：国連および東京国際海洋シンポジウム(1977)で報告。

第1世代のマンガン団塊鉱業が行われると予想される海域の鉱量。

注2：鉱業便覧 昭和58年度版による。

ニオブなど30種類に及んでいる。

しかし、マンガン団塊の開発の対象として考えられている成分は、マンガン、コバルト、ニッケル、銅の4種類で、それ以外のものは含有金属が微量であったり、低価格のため対象とされていない。

マンガン団塊の賦存量については種々の報告が出されており、太平洋だけでも4,000億トンから1兆トンとも言われる莫大な量が予想されている。

このうち、将来マンガン団塊の商業規模の採鉱が行われると予想される海域(いわゆる「マンガン銀座」及びその周辺)については、表1にみられるように賦存鉱量約230億トンで、その中に含まれる主な金属量はマンガン63億トン、ニッケル2.9億トン、銅2.3億トン、コバルト6,000万トンと見積もられる。

表2は、上記4金属の西暦2000年におけるマンガン団塊による充足率(予想)を示したもので、マンガン団塊開発にかかる期待の大きさがわかる。

なお、わが国は鉱産物の大消費国でありながら、自給率は極めて低く、上記4金属についてみると、ニッケル、コバルトはともに0で、銅(地金)2.6%、マンガン鉱3.3%(ともに昭和59年度)を自給出来るにすぎない。

2. マンガン団塊採鉱システムの研究開発の背景

2.1 わが国の探査状況

マンガン団塊に含まれるニッケル、コバルト、銅等は、わが国の産業活動や国民生活にとって必要不可欠な原料であるが、前述の如く、わが国はこれらの資源

表2 2,000年におけるマンガン団塊による充足率(参考)
(鉱業便覧, 昭和60年度版による)

	1977年における世界消費	2000年における世界消費(A)	2000年における団塊からの生産 (B)	(B) / (A)	陸上資源による耐用年数 (マンガン団塊)
	(1,000 t)	(1,000 t)	(1,000 t)	(%)	(年)
Ni	647.5	1,915	767.7	40.1	93 (258)
Cu	8,963.7	26,497	649.4	2.5	63 (15)
Co	約 27.0	80	82.1	102.6	92 (1,670)
Mn	約 12,000.0	35,485	8,199.0	23.1	292 (365)

表3 世界におけるマンガン団塊採鉱技術の開発状況
(国家プロジェクト, コンソーシアム関連)

	1975	1980	1985	1990
工業技術院 大型プロジェクト			陸上モデル実験	海洋総合実験 (採鉱能力110~130t/hr) (パイプ径 8 inch)
ケネコット・グループ (KCON)		集鉱機テスト (-5000m) 陸上揚鉱テスト (揚鉱能力80t/hr)		流体ドレージ法 (ポンプ, エア) 曳航式集鉱機
U.S. スチール・グループ (OMA)		洋上揚鉱テスト (採鉱能力50t/hr) (パイプ径 6 inch)		流体ドレージ法 (エア) 曳航式集鉱機
インコ・グループ (OMI)		洋上揚鉱テスト (採鉱能力60t/hr) (パイプ径 8 inch)		流体ドレージ法 (ポンプ, エア) 曳航式集鉱機
ロッキード・ グループ (OMC)		洋上揚鉱テスト (集鉱能力40t/hr) (パイプ径 6 inch)		流体ドレージ法 (ポンプ, エア) 半自走式集鉱機
フランス 国家プロジェクト (AFER NOD)		CLB洋上テスト 詳細不明		OLB・シャトル方式 ↓ 流体ドレージ法

* コンソーシアム関連の数値は推定値である。

のすべてあるいは殆んどを海外からの輸入に依存している資源小国である。

これらの非鉄金属資源は、陸上資源が枯渇傾向にあるうへ、資源の一部地域への偏在、国際資本による市場支配などもあって、陸上資源のみによっては、長期的に低廉かつ安定的な供給を確保することは困難と見られている。

幸い、わが国が当面開発の対象として考えている「マンガン銀座」は公海であって、既述のように龐大な量のマンガン団塊の賦存が見込まれている。

わが国では、工業技術院地質調査所が1970~1971年に予備調査を行い、ついで1974年には専用地質調査船「白嶺丸」の竣工、1980年にはマンガン団塊専用調査船「第2白嶺丸」の完成により、1975年以来毎年長期の本格的調査が続けられている。

2.2 内外の技術開発

マンガン団塊の開発を目的とし、1970年代半ばから各国の企業が国際コンソーシアムを結成し技術開発を

進めた。

その主なものは、ケネコット グループ、US スチール グループ、インコ グループ、ロッキード グループの4つである。

以上のうち、ケネコット グループは1974年に5,000mの水深で集鉱機の実験を行った。

USスチール グループは、1978年 Deepsea Miner II を使用して、5,000mの水深で採鉱実験を行った。インコ グループは SEDCO 445 (石油掘削船を改造) により水深5,000mでポンプリフト, エアリフト両方式による採鉱実験を行い成功した。

ロッキード グループは、深海用特殊作業船 Glomer Explorer を米国政府からリースして水深5,000mの海域で実験を行った。

以上のように、各コンソーシアムとも実海域で実験を行い成果を収めている。

フランスは、国家主導による探査、採鉱技術開発を進め、ソ連も太平洋地域で探査活動を行っている。

表3は、世界におけるマンガン団塊採鉱技術の開発状況を示したものである。

わが国では、1960年代半ばから一部企業による連続バケット法の試験研究が行われ、その後、工業技術院公害資源研究所による基礎技術研究、深海底鉱物資源開発協会(DOMA)の研究等が行われた。

以上の基礎研究がもとになって、通産省工業技術院は昭和56年度に「マンガン団塊採鉱システムの研究開発」を大型工業技術研究開発制度(略称、大型プロジェクト)の対象として採択し、当技術研究組合に研究開発を委託し今日に至っている。

2.3 国連海洋法との関連

主として深海底問題を検討するため、1973年(昭48)に第3次国連海洋法会議が開催され、約10年に及ぶ審議を経て1982年(昭57)4月に国連海洋法条約が採択され、同12月に119ヶ国によって署名された。

この条約は、60ヶ国が批准した後1年を経て発効することになっている。

この条約によれば、深海底の開発を国際管理の下に置き、国際海底機構(Authority)の管理のもとに実際の開発活動を行うための機関(Enterprise)が開発を行うことになる。

また、上記の海底機構による開発のほか、現実に開発能力を有する国または企業も一定の条件のもとで開発に従事出来ることになっており、これら「先行投資者」には一定の優先権を付与する「先行投資者保護決議」がなされている。

わが国では、この決議に関連して、昭和57年7月に「深海底鉱業暫定措置法」が制定され必要な国内法の整備が行われるとともに、同年9月に深海資源開発株式会社設立された。同社は、深海資源の実際の探査及び開発を目的として設立され、先行投資者の地位を政府より継承している。

3. マンガン団塊採鉱システムの研究開発の目標と方式

「マンガン団塊採鉱システムの研究開発」を工業技術院の大型工業技術研究開発制度のもとで進めるにあたり基本計画が策定されたが、要約すると次のとおりである。

(1) 水深4,000～6,000mの深海底に賦存するマンガン団塊を「流体ドレッジ方式」により採鉱する技術を開発すること。

(2) マンガン団塊を商業的規模で効率的かつ経済的

に採鉱できる技術を確立すること。

(3) 上記目標を達成するため、トータルシステムならびに関連するサブシステム(集鉱システム、揚鉱システム、ハンドリングシステム、計測制御システム)の要素技術開発及び機能確認実験を行い、海洋総合実験に必要な基礎技術を確立すること。

(4) この成果をもとに実験システムの詳細設計、製作を行い、海洋総合実験によりその機能を確認し、商業生産システムに必要な技術を確立すること。

(5) 研究開発期間は、昭和56年度から昭和64年度にいたる9年間、研究開発費の総額は約200億円が見込まれること。

つまり、水深4,000～6,000mの深海底で、曳航式集鉱機によりマンガン団塊を集鉱し、エアまたはポンプにより揚鉱管を通じて船上に揚鉱する採鉱システムを開発し、海洋総合実験を行い商業生産システムに必要な技術を昭和56年度から9年間、約200億円で確立するというものである。

4. 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールは図-3に示すとおりである。トータルシステムは、下欄に示されるサブシステムを搭載する実験船体の研究開発が主体となるが、各サブシステムがトータルシステムの一部として整合性を保つよう調整することも主な任務となっている。

研究開発は既述のごとく昭和56年度に開始され、60年度までの5年間で、必要な基礎研究を終了し、昭和61年度以降は海洋総合実験船製作のための詳細設計の段階に入っている。

海洋総合実験船が建造されれば、「マンガン銀座」において総合実験を行い、その結果をもとに総合評価を実施することとなる。

5. 研究開発の組織

当技術研究組合は、金属鉱業、鉄鋼業、非鉄金属製造業、一般機械器具製造業、電気機械器具製造業、輸送用機械金属製造業、ゴム製品製造業、水運業等に分類される19社、1特殊法人(金属鉱業事業団)の計20の組合員で構成されている。

図-4に示すとおり、技術研究組合の組織として技術総括委員会を設け、4つの分科会とトータルシステム、集鉱システム、揚鉱システム、ハンドリングシステム、計測制御システムの5つの作業部会により、組合員が研究開発を分担して実施している。

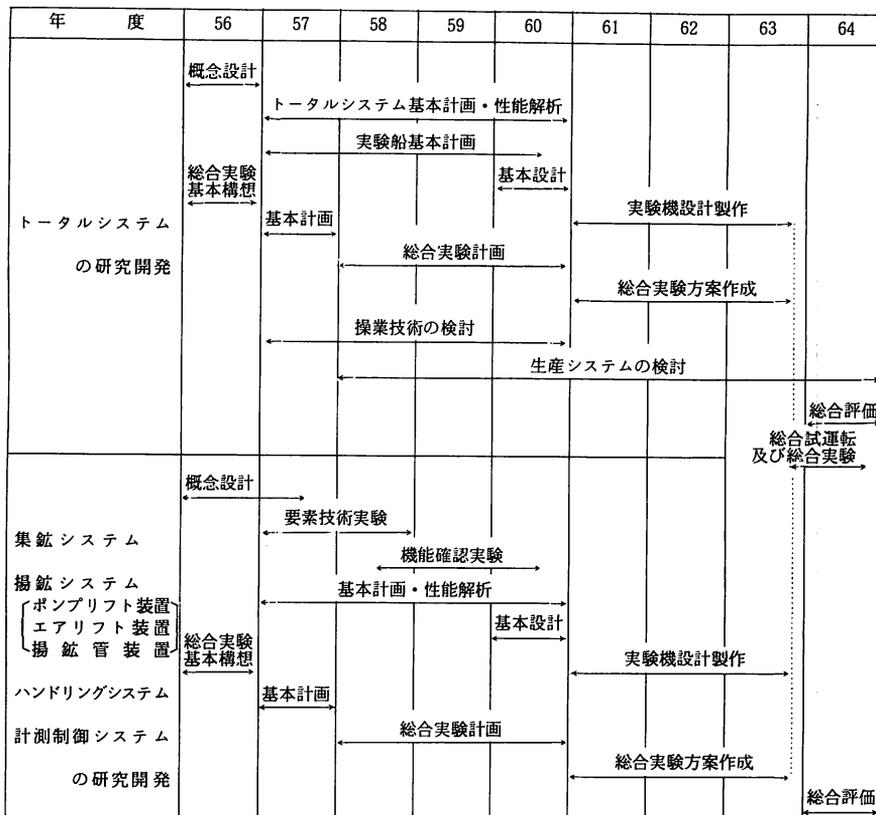


図-3 研究開発スケジュール

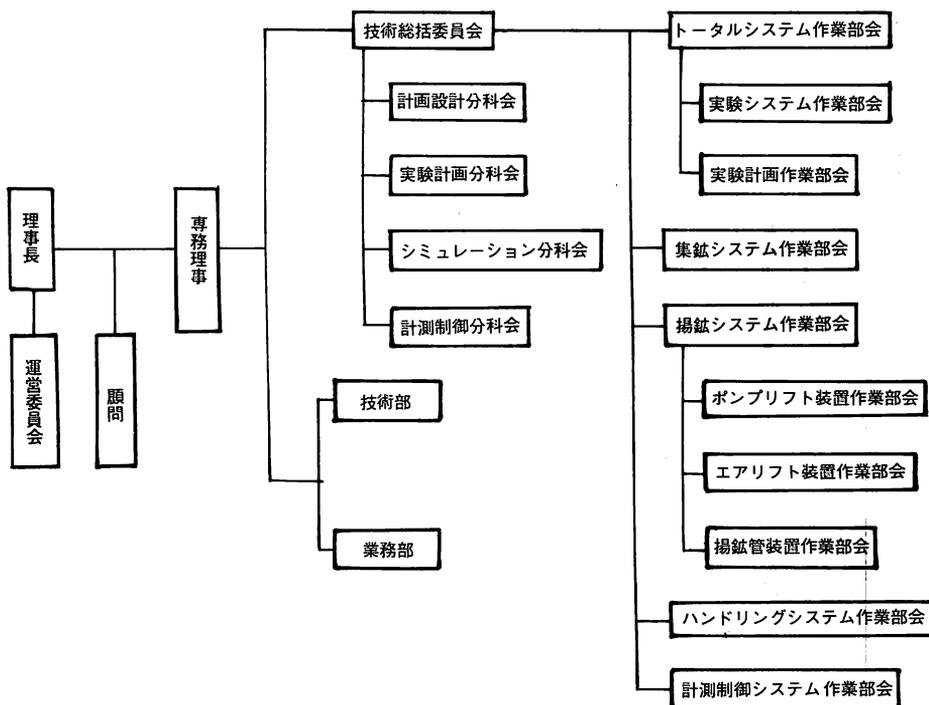


図-4 研究開発組織（技術研究組合マンガ団塊採鉱システム研究所）

なお、組員の分担する研究内容は、相互に重複することはない。

6. 研究開発の内容と現状

6.1 海洋総合実験システムの概念

海洋総合実験システム（実験船等）は、既述の如く集鉱機を曳航し、ポンプまたはエアにより揚鉱管を通じてマンガンノジュールを揚鉱するもので、概念図は図-5に示すとおりである。

6.2 研究開発の重点

この研究開発は水深約4,000～6,000 mに挑む未踏の海洋開発技術であり、研究開発の重点はつぎのところに置かれている。

(1) 採鉱船

深海底において、曳航式集鉱機（自走能力を持たない）に計画コースを維持させながら曳航するための高推力、かつ低速度の可能な採鉱船及び操船技術の開発。

(2) 集鉱システム

正常な姿勢で着・離底可能で、高能率かつ揚鉱システム（揚鉱管を含む）に安定供給可能な集鉱機の開発。

(3) 揚鉱システム

高揚程（4,000～6,000m）、かつ、粗粒のノジュールを揚鉱するための水中ポンプ、水中モータ及びエアリフト装置、並びに水中機器（集鉱機、ポンプ、水中ケーブルほか）を曳航するための耐高張力、耐摩耗性を有する揚鉱管、フレキシブルホース等の開発。

(4) 水中ケーブルシステム

水中機器に電力を供給し、計測制御を行うための、光通信・電力輸送複合ケーブルシステム（コネクタ等を含む）の開発。

(5) ハンドリングシステム

全長6,000mに及ぶ上記水中ケーブル並びに水中機器を、動揺する採鉱船上で安全・確実かつ高能率に降下・揚収を行うハンドリング装置の開発。

(6) 総合機能

集鉱機・揚鉱システム等が直列に接続し、かつ、相互依存性の高い各装置・機器の総合運転機能の確認、並びにノジュール閉塞等の緊急時の対策を考慮した採鉱システム運転技術の確立、等があげられる。

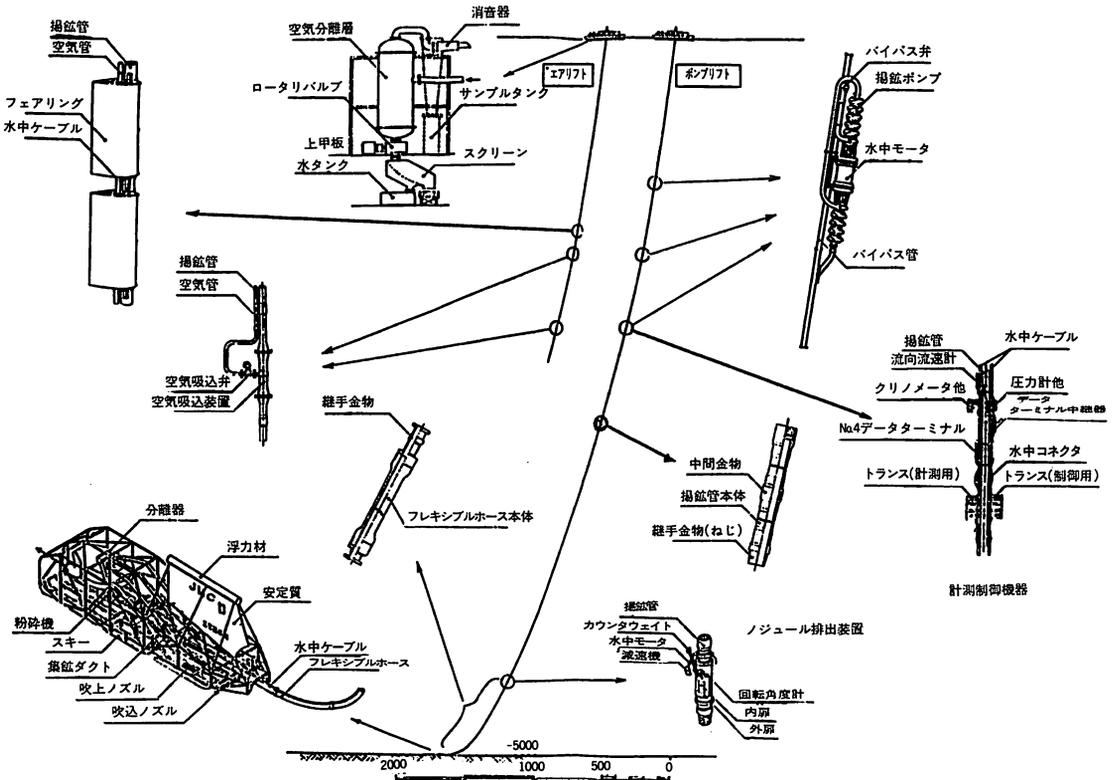


図-5 海洋総合実験システムの概念図

6.3 研究開発の内容

(1) トータルシステム

この研究開発の内容は、採鉱実験船を含めた実験システム全体の研究、海洋総合実験計画の策定、生産技術の研究の3つに大別される。

実験システムの研究では、整合性のとれた採鉱実験システム開発のため、各サブシステムの研究開発の調整・統合を行っている。そのため、総合運動性能シミュレーション・総合採鉱性能シミュレーションを実施した。採鉱実験船については、模型を使用した水槽実験を実施し、船体の推進抵抗・動揺・操縦性能等を説明するとともに、水中ケーブルの格納・移送装置についてケーブルテンションの機能確認実験を行った。

海洋総合実験計画については、実験項目の整理、ドックサイドテスト、総合試運転を含めた実験計画を策定し、生産技術の研究では製錬も含めた将来の商業生産システムの推定と操業技術の検討を行った。

(2) 集鉱システム

集鉱機については、スケールモデルによる集鉱性能実験、運動性能実験および集鉱性能シミュレーション、運動性能シミュレーションを行った。また、集鉱機の主要部である分離（堆積泥とノジュールの分離）・粉碎・揚鉱管への供給装置等の機能確認実験を行った。

(3) 揚鉱システム

揚鉱管装置は高張力鋼管、抗張力フレキシブルホース、フェアリング、負圧防止弁、閉塞防止弁等から構成されており、構造・材質・接続方法等の選定実験を行った。また、揚鉱管装置全体としての機能確認実験及び強度解析シミュレーション及び挙動解析シミュレーションを実施した。

ポンプに付属する耐水圧水中モータについては、水中軸受・軸シール・均圧装置の選定実験、耐久実験、性能解析シミュレーションを行ったほか、200m立型水槽で機能確認実験を行った。

エアリフト装置については、採鉱実験船上に設置する気固液三相分離装置の選定実験、運転制御方法と運転条件確立のための性能解析シミュレーションを行うとともに、200m立型水槽を使用した揚鉱実験により定常および非定常の揚鉱特性を確認した。

(4) ハンドリングシステム

船体動揺下のハンドリング作業を円滑に行うため、各種水中機器の搬出入実験と着脱操作実験を実施した。

また、動揺補償装置については動揺補償特性説明のための性能解析シミュレーションを実施したほか、油

圧シリンダ用シールの耐久実験、デリック装置のスケールモデル製作による各装置の配置・とり合いの検討を行った。

(5) 計測制御システム

このシステムは、管制システム、データ伝送システム、データ処理システム及び水中音響装置から成っている。

光・電力複合ケーブル、コネクタ、データターミナルについて、小径化、小型化のための選定実験、機能確認実験を実施した。

また、データ伝送ケーブル及び集鉱機に搭載予定の前方監視装置については、日本近海の海域において機能確認実験を実施した。

7. 研究成果の発表

マンガン団塊採鉱システムの研究開発は、工業技術院からの委託研究であり、この研究開発によって得られた特許及びノウハウはすべて工業技術院が保有することになる。

これまでの研究成果については、冒頭に述べたように、昭和59年度以降、3回にわたり発表会を開催しており、主な発表項目はつぎのとおりである。（公害資源研究所の発表項目を含む。）（ ）内は発表年。

トータルシステム

マンガン団塊採鉱システムの運動性能(59)

採鉱実験船の操縦性能(61)

集鉱システム

○深海堆積層の工学的特性(59)

○集鉱機の基本実験(59)

○集鉱機の海底上での走行運動性能(60)

○集鉱機の海底曳航実験(61)

○集鉱機の集鉱性能(61)

揚鉱システム

○マンガン団塊の揚鉱実験(59)

○エアリフト式揚鉱装置の計画と性能(59)

○マンガン団塊揚鉱用水中ポンプの性能(59)

○揚鉱管の継手(59)

○大粒径スラリーの傾斜管における流動特性(60)

○エアリフト装置機能確認実験の結果と海洋総合実験計画への適用(60)

○揚鉱管の強度(60)

○揚鉱過程におけるマンガン団塊の破碎性(61)

○200m立型水槽におけるポンプリフト揚鉱特性実験(61)

○エアリフトシステムの非正常特性と運転制御方法(61)

○揚鉤管の渦励振とその対策(61)

ハンドリングシステム

○マンガン団塊採鉤船デリック装置の概要(59)

○海中機器ハンドリングシステム(61)

計測制御システム

○深海採鉤用光・電力複合アンビリカルケーブルの開発(59)

○深海光伝送用データターミナルの開発(60)

○光・電力複合ケーブルシステム(61)

○海底における前号障害物監視装置の分解能向上(61)

おわりに

マンガン団塊採鉤システムの研究開発は、大別して①基礎研究、②採鉤システム(実験船及び搭載機器)の詳細設計と製作、③海洋総合実験、④総合評価の4段階に分かれる。

以上のうち、第1段階の基礎研究(昭56~60年度)は、通商産業省工業技術院及び関係各位の御指導ならびに組員各位の絶大な努力によって成功裡に終了した。

昭和61年度以降は第2段階である海洋総合実験シ

ステムの設計製作の段階に入っているわけである。

諸外国の例で、4つのコンソーシアムが海洋総合実験に成功していると言っても、われわれが目指しているような専用の採鉤実験船を航行させ連続的に揚鉤したわけではない。したが、最新の技術を駆使し、組織的にマンガン団塊の採鉤に挑むのは世界で初めてということになる。

技術研究組合マンガン団塊採鉤システム研究所は、この研究開発の成功を目指して今後とも全知全能を傾けて努力する所存であり、関係各位の御理解と従来同様の暖かいご指導・ご指授をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 若林俊一郎; マンガン団塊採鉤システム, 日本船用機関学会誌, 第21巻, 第2号
- 2) 尾山哲夫; マンガン団塊採鉤システムの概要と現況, 日本機械学会第620回講習会教材(86'ー6ー12, 13 東京, 明日への荷役搬送技術)
- 3) 斎藤隆之; マンガン団塊採鉤システム(研究開発の現状について) 日本機械学会誌, 第89巻, 第814号
- 4) 平塚保明; マンガン団塊の開発(採鉤) 産新報第961号(昭61. 1. 5)
- 5) 鉤業便覧, 昭和60年度版, (財)通商産業調査会発行, 資源エネルギー庁長官官房鉤業課監修

