

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.25 (1993) No.3

川崎製鉄の総合エンジニアリングー起点は島，起点は都市ー

All-round Engineering by Kawasaki Steel Corporation?The Island and Town Construction as Starting Points?

齋藤 征太郎 (Seitaro Saito) 日根野 孝之 (Takayuki Hineno) 高橋 千代丸 (Chiyomaru Takahashi)

要旨：

川崎製鉄のエンジニアリング事業は，製鉄所建設をとおり培われた技術を起点として，製鉄設備の販売，鉄を主体とした構造物の建設から，社会的ニーズに呼応した総合エンジニアリングへと発展してきている。最近では，都市ゴミ処理など環境エンジニアリング分野での技術開発にも注力し，プラント，土木，パイプライン，建築，建材と多分野にわたり鉄鋼メーカーならではの特徴ある事業展開を続けている。本論文は，これら分野における当社の技術動向と成果および今後の展望をまとめたものである。

Synopsis：

The engineering business by Kawasaki Steel Corporation, whose technical starting point is that cultivated through the construction of ironworks, is expanding its scope from selling the steelmaking plants and constructing mainly steel structures to all-round engineering in response to social requirements. Thus, the Engineering & Construction Division has been developing characteristic business in cooperation with the steelmaking division in the various fields of the plant, civil engineering and building, pipeline and construction materials, including environmental engineering such as the treatment and recycling of garbage in town. This report discusses the recent technical trend and the future prospect regarding these fields in the Engineering & Construction Division.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

川崎製鉄の総合エンジニアリング —起点は島，起点は都市—*

川崎製鉄技報
25 (1993) 3, 153-160

All-round Engineering by Kawasaki Steel Corporation —The Island and Town Construction as Starting Points—



齊藤 征太郎
Seitaro Saito
エンジニアリング事業
部 鉄鋼技術部長



日根野 孝之
Takayuki Hineno
エンジニアリング事業
部 建築技術部長



高橋 千代丸
Chiyomaru Takahashi
エンジニアリング事業
部 建材技術部長

要旨

川崎製鉄のエンジニアリング事業は、製鉄所建設をとおり培われた技術を起点として、製鉄設備の販売、鉄を主体とした構造物の建設から、社会的ニーズに呼応した総合エンジニアリングへと発展してきている。最近では、都市ゴミ処理など環境エンジニアリング分野での技術開発にも注力し、プラント、土木、パイプライン、建築、建材と多分野にわたり鉄鋼メーカーならではの特徴ある事業展開を続けている。本論文は、これら分野における当社の技術動向と成果および今後の展望をまとめたものである。

Synopsis:

The engineering business by Kawasaki Steel Corporation, whose technical starting point is that cultivated through the construction of ironworks, is expanding its scope from selling the steelmaking plants and constructing mainly steel structures to all-round engineering in response to social requirements. Thus, the Engineering & Construction Division has been developing characteristic business in cooperation with the steelmaking division in the various fields of the plant, civil engineering and building, pipeline and construction materials, including environmental engineering such as the treatment and recycling of garbage in town. This report discusses the recent technical trend and the future prospect regarding these fields in the Engineering & Construction Division.

1 はじめに

川崎製鉄のエンジニアリング事業部門は、製鉄所建設をとおり培われた技術を起点とし、鉄という材料の強みを背景に、プラント、土木、パイプライン、建築および建材の多分野において技術を蓄積・発展させてきた。さらに、近年注目を集めているエネルギー、環境関連分野における時代の要請にも対応し、グループ会社群と一体になり、川崎製鉄グループとして、総合エンジニアリングへと事業を展開してきている。以下に、これら技術の最近の動向と成果、および今後の展望について、各分野ごとに総括してみたい。

2 プラント分野

当社は、製鉄所建設、操業、自動化、システム化の長い歴史の中で開発、蓄積された製鉄所固有技術を中心に、製鉄エンジニアリングのみならず、製鉄所とは切り離せない水処理、さらに水処理設備から発生する汚泥の処理技術と製鉄所熱エネルギー利用技術を開発させ、社会的ニーズにも対応したゴミ処理へとプラント分野での事業を展開し地歩を固めてきた。また、製鉄所固有の生産、物流、保全、エネルギー管理などの技術を、一般のプラント設計にも応用

し、最新のFA (factory automation) 化技術も取りこんで特色あるプラント建設に取り組むなど、事業スパンを拡大してきた。

2.1 製鉄エンジニアリング

プラント分野の源流である製鉄エンジニアリングに関しては、まず、フルターンキー受注の海外工事があげられる。フィリピン焼結工場 (PSC, 1977年稼動)、ブラジルツパロン製鉄所 (CST, 1983年稼動)¹⁾、コロンビア、タイ、マレーシア、台湾における電気鋸めつきライン (本特集号論文でその技術的特徴を紹介)²⁾などの建設及び操業立上げを行ない、これらの経験を積むごとにコンセプトエンジニアリングからコンストラクション・マネージメントまで着実に実力を涵養してきた。

製鉄各プロセス固有技術の販売においても、特筆すべきものがある。長寿命と安定操業に寄与する高炉改修操業技術、溶鋼攪拌・脱リンに優れた転炉複合吹錬法 (LD-KGC)³⁾、極低炭素鋼製造に寄与する真空槽内酸素吹込みプロセス (KTB)⁴⁾、厚鋼板形状・歩留り向上に寄与する平面形状制御圧延法 (MAS 圧延法)⁵⁾、薄鋼板のプロファイル制御および平坦度改善に寄与するワークロールシフト圧延法 (K-WRS)⁶⁾、多品種冷延鋼板の熱処理、省エネに寄与する連続焼鈍法 (KM-CAL)⁷⁾、棒鋼の生産性向上に寄与するカリバーレス圧延法⁸⁾などである。近年日本の自動車メーカーの欧米進出に伴い自動車用表面処理鋼板の製造技術提供を求められ、特に亜鉛系合金めつき鋼板製造技術⁹⁾については、BREGAL (ドイツ)、

* 平成5年6月10日原稿受付

STELCO（カナダ）などに提供し好評を得ている。

また、製鉄所の総合環境改善、省エネを目的に、ブルガリアクレミコフチ製鉄所に技術援助を実施したが、今後地球環境保護の観点から、このような総合エンジニアリングの要請が多くなるものと予測される。さらに、中進国においては鉄鋼生産の自国化の要望があり、最近受注した台湾冷延工場建設プロジェクトをはじめ、電炉ミニミルプラント建設や、ステンレス鋼板、珪素鋼板など高級鋼の製造技術提供など当社の対応が期待されている。当社製鉄エンジニアリング部門では、より広範囲なフルターンキープロジェクトをはじめ、さまざまな期待に応えるべく、着々と準備を進めている。

2.2 水処理

当社の水処理技術は、製鉄所での用排水処理設備の計画、設計、建設、運転、維持管理の経験が基となっている。製鉄所における用排水は多岐にわたり、浄水、工水、循環水、海水と油・重金属懸濁固形物などを含む排水および生活排水とから成っている。この製鉄所で培った技術を基に、1984年から社外へ向けて水処理技術、設備の販売を開始し、まず下水道分野への参入を目標とした。当初は自動除塵機などの単品受注から手掛け、しだいに装置受注へと範囲を広げた。

2.2.1 下水分野

現状の下水道普及率は45%で、公共事業計画によればこれを2000年には70%まで向上させることになっており、下水道への公共投資額が多くなる傾向で有望な分野である。当社は、沈砂池設備、汚泥濃縮設備、農業集落排水処理設備などこの分野で幅広く実績を積んでいるが、特に、本特集号で新製品・新技術として紹介している回転円筒付き円形沈砂池設備¹⁰⁾は、除砂能力など従来のものより優れたものでその普及が期待される。

2.2.2 工場用排水分野

製鉄所付属の水処理設備について、最近では、台湾の安鉄鋼鐵、東和鋼鐵などで工事実績があるが、今後製鉄プラント設備は、中国、タイ、マレーシア、インドネシアなどにも普及するものと思われる。また製鉄プラント以外では、当社は、日本セミコンダクター(株)の用排水処理を担当し、半導体工場の超純水処理および排水処理技術を確認した。今後半導体工場が東南アジア地域に新設されるであろうが、この技術が大きく貢献できるものと考えられる。

2.2.3 水域浄化分野

地域開発、リゾート開発には、アメニティが欠かせない要素である。特に閉鎖性水域をもうけて、静穏な親水施設を有する憩いの場をつくるのは必要不可欠である。これには、水質維持のための水処理設備を設置することになる。当社は、これらの設備の効果的設計を行うための水質浄化実験や水質シミュレーションにも力を注いできた¹¹⁾。今後ますます人々は潤を求めて、地域開発やリゾート開発を展開するであろうが、水域浄化に関連して当社が開発した技術が大きく貢献できる場が与えられるものと思う。

2.2.4 汚泥処理分野

上述した種々の水処理設備から発生する汚泥の処理は、環境保全の立場から大切である。汚泥処理には、コンポスト化、焼却、溶融などがある。今後この分野は、処理という領域のみならず、再資源化、リサイクルという観点からも、昨今の社会ニーズに呼応し普及させねばならない。

2.3 ゴミ処理（都市環境対策）

都市ゴミは、通常、ゴミ焼却炉で焼却後、その焼却灰は投棄処分

されている。当社は、資源のリサイクルの観点から「生ゴミを燃料化する固形燃料化システム」、また埋立地問題解決のために「プラズマ式溶融炉を用い焼却灰を減容および再資源化するシステム」を完成させた。

生ゴミからは発熱量約4000 kcal/kgの固形燃料が作られる。生ゴミ発電の場合、発電効率は約12%であるが、固形燃料発電では約30%を達成できる。また、長期保存が可能で、発電、給湯、暖房等への有効利用が可能となる。固形燃料はすでに燃料として使用することを大阪府から認可されているが、固形燃料化システムは生ゴミをエネルギー源として各方面に利用でき、今後有望な再資源化手段といえる。当社は、都市ゴミおよび廃棄物を対象として伊藤忠(株)、他2社と日本リサイクルマネジメント社を設立させ、ゴミ処理分野に進出し、すでに奈良県榛原町および栃木県野木町で固形燃料化プラントを稼働させ、本システムの販売活動を行っている。

プラズマ式焼却灰溶融炉は、プラズマを熱源とするため、溶融炉はコンパクトで、容易に高温の溶融スラグを得ることができる。これについては、本特集号論文「プラズマによる都市ゴミ焼却灰の溶融技術」¹²⁾に詳述されているとおり、基礎実験を完了し、当社と、東京電力(株)、川崎重工工業(株)および千葉市の4者共同で千葉市北谷津清掃工場に実証実験炉を設置した。実証実験では当初期待した成果を得て、現在実機設計に入った。本炉はシュレッダーダスト焼却灰の溶融処理にも適しているが、今後、新設および既設の一般ゴミ焼却炉から発生する未燃物を含んだ焼却灰を対象として、その需要が伸びていくものと期待される。

2.4 プラント一般

当社では製鉄所関連あるいは類似のプラント一般施設の建設も広く手掛けてきた。フィリピン焼結工場、ブラジルツバロン製鉄所などの港湾および原料ヤード、フィリピン肥料製造工場港湾設備および原料・製品ヤード、神戸市土砂運搬設備、全天候型荷役設備などである。また、肉の自由化などで変革期を迎えている酪農分野においては配合飼料工場の新規建設、改造の機運にあり、当社は従来より行っているサイロなど貯槽類製作工事から一歩踏み出し、全国酪農業協同組合連合会の飼料工場建設、ホクレンの飼料工場改造工事など配合飼料工場分野へ参入した¹³⁾。ここでも、製鉄所の原料配合・運搬などの自動化、システム化を含めた固有技術が生かされている。今後プラント分野では自動化、効率化、システム化、CIM（コンピュータ統合生産）化に対する要求がますます高まり、各種プラント建設に、当社の総合エンジニアリング技術力が求められるであろう。

3 土木分野

3.1 土木技術の核と拡がり

はじめに述べたように当社の土木技術は製鉄所の建設から始まった。したがってその核となる技術、またその拡がりに関して見てみると、それぞれの時代に応じて変化してきている所が興味深い。まず核となる技術について振り返ってみると、昭和30年代に護岸、埋立、岸壁、大型基礎（ケーソン）から始まり、40年代に入ってからは大口径の鋼管杭、鋼管矢板、地盤改良などに進み、さらに海洋土木や橋梁などの大型鋼構造物へと発展し、最近では都市・リゾート開発なども手掛けるようになってきている。また土木技術者の多くがエンジニアリング事業に携わる今、上記の歴史の中で培われた「土質および基礎」に関する技術と「鋼構造物」に関する技術は、

世界の中でも確たる内容と地位を有するものと考えている。一方、技術の拡がりについてみると、まず上述の核となる技術の周辺技術として発展したものが多くある。最新の技術としては、最も進んだ低騒音・低振動杭打工法のドリル杭、杭の貫入抵抗力などを精度よく推定できる PDA (パイルドライビングアナライザー)^{14,15)}、地盤性状を広範囲かつ高精度に調査できる音響トモグラフィ¹⁶⁾などいずれも我国でトップレベルのものである。また海洋を中心とした鋼構造分野では、TMCP (熱加工制御) 鋼、厚肉高張力鋼、耐候性鋼など高機能鋼の加工技術面での優れたノウハウの蓄積に加え、マリinjaストなど設計システムから製作図システム、材料管理システム、部材加工管理システムさらには輸送システムまでソフト面での独自技術が充実している。

技術の拡がりに関して今一つ特筆しておきたいこととして、エンジニアリングネットワークがある。昨今のプロジェクトが複雑多様化する中で、エンジニアリング事業を発展させることはなかなか難しく容易ではない。プロジェクトの規模は大きくなり、技術対応も種々の専門技術が要求され、そのうえそれぞれに高度で新しいものが必要になってくる。さらにこれらの技術を集約大成させて初めて総合エンジニアリングと呼べるものになり、これのできる者のみがプロジェクトの頂点に立ち得る。限られた技術者でこれを成し遂げることは事実上不可能であり、また自社にシンクタンク的に膨大な人材を抱えることも事業採算面で非効率的と言える。これらの多くの種類・分野の技術のうち、一部のシーズオリエンテッドなものは独自技術として自社で開発保有するが、それ以外のほとんどのものはその都度社外から導入しプロジェクトを実行していく。当社の目指すべき位置づけはプロジェクトオーガナイザーであり、技術面ではテクノロジーコーディネーターといった所である。幸いにもエンジニアリング事業部はあらゆる種類の技術者を抱えており、またそれぞれが社外に多くの人脈ネットワークを構築している。したがって自社にシンクタンク保有の必要性はなく、先端固有技術に関しては社外のシンクポイントをネットワーク化しておき、プロジェクトごとの内容に応じてその都度対処していく方法がベストであると考えている。

3.2 社会ニーズと技術対応

3.2.1 都市づくり

以上の論旨を踏まえ、本論文のサブタイトルである「起点は島」の意味を考えてみると、製鉄所の建設は海岸線より沖合に正しく今でいう「人工島」を構築し、そこに一大製鉄所を建設したことからは始まっている。また一大製鉄所をつくるということは、それに関与する人口 (家族も含め) は 10 万人を超え、そのためには都市のインフラづくりも当然必要になってくる。これらの経験が地域開発事業に結びつき、現在ではエンジニアリング事業の一つの柱となっている。21 世紀のエンジニアリング事業に向けて、今この都市づくりこそが新たな起点になると考える。本特集号の中で「人工地盤の構築による洪水調整池の高度利用」のタイトルで論文発表¹⁷⁾がなされているが、これは「起点は都市」の典型例といえよう。この新しい街 (卸売団地) づくりの構想は非常に斬新なものであり、本格的なものとしては我国初の事例といえよう。それだけに制度面、技術面、社会性など非常に多くの課題を抱えていたが、学・官・産が三位一体となって斬新で柔軟な対応によりこれらの諸問題を 3 年がかりで解決することができた。これは、文化を共にする鉄鋼 5 社の協力体制が一つのきっかけをつくり、多くの人々の叡知がこれを成功に導いたものである。

3.2.2 リゾート開発

次に「リゾート開発における環境保全技術」と題する論文¹⁸⁾では、開発の在り方を世に問いつつ建設を進めて来たことを論じている。そのコンセプトは出来得る限りの「自然に優しい工法」を選択し、また諸施設が完成した後は時間と共に「自然に還元する」ことを心掛け、それらをバランスよく満足させるためには、土木工学をはじめ造園学、生態学、人文科学など多岐の専門にまたがる学際分野の一体化・総合化の必要性を論じている。元来我国における開発のイメージは「開発＝自然破壊」「不動産の不透明さ」などと、好ましくない印象を与えることが間々あった。最近開発規模が大きくなるに伴い、大手企業が参画するようになり、また企業の社会的責任も同時に問われはじめ、それからくる技術の進歩が開発の中身を濃いものにしてきている。当社の場合も前述のように、従来から技術の一つの核としてきた「土質および基礎」の総合技術をベースにして、各種の専門技術を社外に散在しているシンクポイントネットワークの中からアッセンブリングして開発を進めている。そのような中であって今後さらにニーズが高まることを予測して、独自の技術として蓄積した CG (コンピュータグラフィックス) の開発も手がけている。自然と人工構築物の調和を図るには不可欠の技術であり、これの最も難しい所はシステムづくりでもハード機器の良否でもなく、CG の利用に際しに芸術性を加味し、いかに人々の心を満足させるかの点にある。現在の当社の技術はまだそこまで至っていないが、今後はプロジェクトを重ねつつ課題にとり組んでいきたい。今回は「コンピュータ・グラフィックスによる景観シミュレーション」と題して記載した¹⁹⁾。

3.2.3 海洋開発

第一次オイルショック以降、世界的に海洋における石油掘削が盛んになり、大水深用超大型ジャケット構造物の開発に各社が取り組んだ。その結果当社も 1985 年にはブルウィंकフルプロジェクト (Photo 1) で一基約 4 万 t の部材加工を受注し提供する所まで技術習得を成し遂げた²⁰⁾。ところが、現在はこのプロジェクトを最後に油冷えが続いており、世界的にこの種のマーケットが実質上姿を消してしまった。しかし、これにより培われた海洋鋼構造物の技術は卓越したものがあり、東京湾横断道路の人工島の大水深護岸構造として蘇った。これは新日本製鐵㈱を中心に、日本鋼管㈱、当社の 3 社がそれぞれ開発したものである。東京湾内とはいうものの水深が 30 m にもなり、在来の護岸工法では適切なものが見当たらず、ジャケット工法が護岸の最適工法として採択された。これについては論文「東京湾横断道路木更津人工島ジャケット工事」に詳述されている²¹⁾。

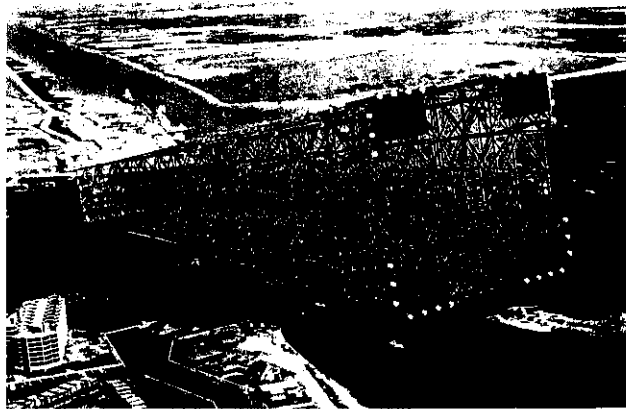


Photo 1 Jacket structure for large-scale deep water platform in Bullwinkle Project

3.3 今後の展開

以上、土木技術の歴史と現状について述べてきたが、今後の技術動向および展開については、今まさに変わろうとしているエンジニアリング業界の環境の変化に大きく左右されることになる。日本の市場開放に対する圧力は日増しに強まってきており、ガットで厳しい論議が続く中、今後の国内のマーケットや業界の力学バランスがどう変化していくかである。今まで日本国内におけるエンジニアリング業界の存在感は薄く、外国に比べて確たる地位を得ていなかったが、今後は外国企業とりわけ欧米のエンジニアリング会社の上陸を契機に、業界内の再編成および業界としての地位の向上が進んでいく。当社がエンジニアリング事業を旗揚げしてから20年が経過したが、その間海外・国内でそれぞれエンジニアリング・ビジネスを展開して来ており、それらの蓄積が今後の展開に大いに役立つものと期待している。すなわち、先ほどから述べてきた当社の目指すプロジェクトオーガナイザーなり、テクニカルコーディネーターなりへの取組みをワールドワイドに展開していくことが、今後の更なるエンジニアリング事業の発展に結びつくものと考えている。

4 パイプライン分野

製鉄所における水は、人の血液のごとく生産活動に欠かせないものである。この水を送る手段として用いられるパイプラインが常に安定して機能するよう、製鉄所の技術者は不斷の努力を傾注している。千葉および水島製鉄所では、延長約450kmに及ぶ水道配管施設の建設・運転・維持管理業務を自社で行ってきたが、この35年間にわたる豊富な経験が、社外へ向けての事業展開の基礎となっている。水道事業では、1960年代での小中口径水道配管施工に始まり、1970年代には大口径・長距離の水道配管工事受注へとその施工実績と技術開発の努力を重ねることで、業界での地歩を固めてきた。さらに、1980年代には、管路施工技术の向上だけではなくパイプライン建設に関わる鋼管製造から設計、施工、検査、保全にわたる総合技術に取り組むことにより、ガスパイプライン分野への本格的進出が可能となった。今後は地球環境保全を見すえた省資源、エネルギーの効率的利用などへの対応が要請されることから、エネルギーの広域輸送パイプライン構想への参画や、地域冷暖房システム分野でのエネルギー有効利用技術開発などにも注力していかねばならない。

4.1 水道用鋼管とその関連施設

日本の近代水道は1887年に横浜市において給水を開始してから、すでに第2世紀に入っており、戦後の国民の生活水準の向上とともに水道施設の拡張設備が飛躍的に進展した結果、1991年度末の普及率は95%となっている。一方、下水道は生活環境整備および公共水域の水質保全のために事業が推進され、その普及率は1991年度末で45%に至っている。さらに、工業用水および農業用水もそれぞれ戦後の経済成長と土地改良事業の普及により使用水量の増加をみた。当社の水道用鋼管を主体とする事業は、このような背景の中で誕生し、成長を遂げ今日に至っている。

水道用鋼管およびその関連施設に関しては、この間に日本水道鋼管協会（1967年）、下水道管路技術センター（1988年）が発足し、加入会社共通の課題に関して技術開発（北千葉導水路埋設実験などの埋設大口径パイプライン挙動試験、耐震設計のための全断面引張り圧縮試験、急速埋設工法および推進管標準化、新塗覆材の開発など）および設計・施工方法の規格化を進めてきた。近年では内面

塗装に関する水質の安全性の観点からノンタル系のエポキシ樹脂塗料の開発が行われ、防食設計・施工の標準化必要性からマクロセル腐食防食指針が制定されている。

当社においても、並行して独自の技術開発が行われてきた。エレクトロスラグ溶接法およびMAG溶接法を用いた大口径鋼管用円周自動溶接法の開発^{22,23)}は、導水・送水管路の大口径化、長距離化などの要請に応え、現場での溶接効率の向上、品質の安定化に貢献した。また、水道鋼管用内面塗装機は、700A以下の管路継手部においても内面塗装を可能にしたものであり、従来水質管理・防食の観点から懸案となっていた問題点を解決した。昨今厚生省の提唱する「ふれっしゅ水道」計画のもと、普及率、サービスの向上、水道施設における“つよさ”“おいしさ”“ゆとり”などが求められている。地震時の応急給水に威力を発揮する緊急時飲料水タンク²⁴⁾、管路の施設管理、事故復旧に適用される水道管路施設情報管理システム²⁵⁾などは、このような背景に基づいて開発されたものである。

以上のような技術開発をベースに、国内においては、北千葉導水路などの大口径管路や管径1200A、橋長258mの市野川水管橋に代表される水管橋の製作・施工および馬蹄形トンネル鋼板内巻改修工法の導水トンネル補修への適用など、特色あるプロジェクトを実施している。さらに、海外においてはフィリピンマニラ首都圏上水道幹線建設工事、さらに重量コンクリート被覆大口径鋼管を敷設したジョホール海峡およびタイのチャオプラヤ河横断工事など実績を積み重ねている²⁶⁾。今後とも当社は、このようなプロジェクトの実績を積み重ねながら、水道用鋼管およびその関連施設について、時代の要請を反映した技術開発に努める方針である。

4.2 ガス・石油パイプライン

当社のガス・石油パイプライン事業は、鋼管製造メーカーとしての鋼管の販売の一端を担う形で始まり、その後鋼管の材料込み敷設工事を受注する形で発展してきた。その間に、水島製鉄所周辺の海底横断、推進などの特殊工法の施工²⁷⁾や継続的な東邦ガス(株)および石油資源開発(株)からのパイプライン敷設工事をとおして、技術を向上させてきた。

当初の技術開発の課題は、高速高品質の溶接施工を実現する施工機器の自動化に重点が置かれていたが、数度にわたる現場適用と改良を重ね、本特集号論文で紹介しているように、現在ではトップレベルの学習機能を持ったMAG自動溶接システムを完成させるに至った²⁸⁾。また、自動溶接機の開発とともに施工の効率向上を目指して、強力内面クランパーや現場で使用できる開先加工機などの付帯設備の整備も同時に進めてきた。さらに推進工法では、小中口径長距離推進用アイアンモール工法を開発し²⁹⁾、引き続き大手ガス会社と共同で大口径長距離推進工法の開発も進めている。

安全対策面での研究開発は、1970年代の石油漏洩検知方法の調査研究に始まり、空港公園より委託を受けた実物大鋼管破壊実験や、最近の液化化耐震対策の研究まで継続的な研究開発を続けている。埋設管路システムの耐震安全性に関しては、本特集号論文「高圧ガスパイプラインの構造設計」³⁰⁾で詳述している埋設管路非線形変位挙動解析システムをはじめ、一連の技術開発やガス流送解析システムの開発もガスパイプラインエンジニアリングの一環として実施している。さらに、施工時の品質管理と将来の維持管理に向けた検査情報管理を目的とする施工管理システムについても、実プロジェクトにおいてその適用性を検証しつつある。

一方、21世紀に向けての地球環境保全を背景として、天然ガスが、地球温暖化の原因とされているCO₂や酸性雨を降らせるSO_x

対策上クリーンなエネルギーとして注目され、日本のエネルギー需要の増大を救う基幹エネルギーとして位置づけられ、国土縦貫ガスパイプライン構想などいくつかの大規模パイプラインが提起されるまでになった。当社においては、高品質のパイプライン用鋼管の供給はもとより、現在施工中の仙台―新潟パイプラインプロジェクトにおける調査・計画・設計業務で培ったエンジニアリング力と電力向け高圧導管工事などで蓄積した技術・経験を基礎に、インフラストラクチャーとしての広域パイプラインプロジェクト実現の一翼を担うとともに、次世代を目指した技術開発を積極的に推進していくこととしている。

4.3 地域冷暖房

冷暖房の熱源としては、従来化石燃料に依存するものであったが、環境問題や省エネルギーの観点から工場、ビル、ゴミ焼却場などの排熱や、下水処理水や河川水の熱など未利用のエネルギーによる地域冷暖房事業が脚光を浴び、行政側の指導もあって急速に普及しつつある。

当社は、5年ほど前から幕張地区の冷温水地域配管工事においてこの分野に参入し、引続きセンタープラントの建設にも参画した。その後、隅田川明石町地区の地冷配管設計に取組み、流送設計および熱計算に関する技術を拡充してきており、現在共同溝内配管の施工を進めている。

今後、ヒートポンプによる中低温エネルギーの利用に加えて、製鉄所の熱技術を活かした熱効率の高い最適システムの構築が課題であり、社会に貢献できる技術開発を進めようとしている。

5 建築分野

当社の建築技術も土木技術と同様に製鉄所の建設から始まった。大スパン工場、重層プラント鉄骨などに鉄構の高度な技術を求めると共に採光や換気をはじめとした建築環境技術の面でも新しい考え方を設計に取り込んできた。さらには、製鉄所周辺の街づくりで総合建築技術を磨き、建設用鉄鋼製品販売における技術サービスをとおりて建材・鉄構分野での技術の充実を図ってきた。そして、工事を安全・確実に実施するための諸施工管理手法もその都度試みて時代に呼応した新しい技術として確立してきた。まさしく「起点は都市」であり、これからも鉄構技術、建材技術を機軸として新しい建築技術の発展にまい進していく。

5.1 総合建築

当社の総合建築分野の最近の特徴は、単なる工事だけではなく企画・設計までも含めた総合エンジニアリングの受注比率が増えてきたこと、国内外での地域開発事業の本格的展開、海外での建設マネジメントの受注拡大に集約される。この間に手がけたプロジェクトは、工場・倉庫などの産業施設のみならず中高層住宅、ホテル、スポーツ施設、ショッピングセンター、学校などの都市型建築にも及んできた。以下にこれらの展開を支えてきた主要な技術・製品について概観するが、今後も鋼構造技術を十分に活かしつつ高層化、大スパン化が求められる都市施設での総合建築技術を開発させていく。

5.1.1 総合エンジニアリング

設計以前の企画段階から工事の完成まで総合的にプロジェクトに参画し、コスト、工期、品質面で事業主に最大の満足度を感じていただけるようにエンジニアリングする技術で、当社は数多くのプロジェクトで実績を積み上げてきた。ホテル新潟や酒田南高校新築工



Photo 2 General view of Loews Coronade Bay Resort (San Diego, California)

事などがその例である。また、国内外の地域開発事業においても総合エンジニアリング技術がベースとなっており、千葉ポートスクエアプロジェクト²¹⁾や滋賀県の草津ウエストプロジェクトが国内での代表的複合施設の実績とすれば、海外でも豪州やハワイでの経験を発展させ1991年末に完成したサンジェゴ（米国）のホテルプロジェクトで総合エンジニアリング技術を集大成させた（Photo 2）。その後も国内外の超高層オフィスビル、ホテル、大規模集合住宅などで、この技術を開発させている。

5.1.2 人工地盤

1993年春完成の埼玉県卸売団地は調整池上の人工地盤の上に建つという日本初の画期的なものである。前述のようにその計画や建築構造には従来の法制度ではカバーしきれない部分が多かったが、緻密なエンジニアリング力と中央・地方の諸官庁や学識経験者の協力と調整によって実現した。構造的には鋼構造の長所を活用し公共の用に十分に耐える耐震性にすぐれた地盤となっており、大都市の過密化に対応する次世代の手法として注目を浴びている。

5.1.3 クリーンルーム

これまでに100件以上の施工実績を積み上げた当社のライン式クリーンルーム²²⁾は、その据付けの容易さとともに機械室や天井ダクトを不要とし、かつ少ない換気回数で、クラス100のクリーン度を実現するという省エネ・省コスト型で、精密、電子、化学、医薬品、食品などの産業で幅広く採用されている。

5.1.4 システム倉庫

近年の物流合理化という流れにのって当社システム倉庫もこれまでに50件以上の実績を積み上げてきた。重量物保管に強いという特徴を生かし鉄鋼製品、冷凍食品、電気部品、印刷部品など幅広い用途に採用されてきた。ラック鉄骨、スタッカー、台車、コンベアなどのハード部分のみならずシステムの頭脳部であるコンピュータも組み込んだ商品として実績を増やしながら改良を加えている。近い将来には、ハード、ソフト共にさらに新しい技術を伴った物流センター構築のためのエンジニアリング技術が提供されよう。

5.1.5 海外での建設マネジメント

本特集号の中で「東南アジアでの鉄道建設プロジェクトマネジメント」と題し紹介しているように²³⁾、インドネシアの国鉄車輛基地とそれに続くフィリピン国鉄車輛基地改修工事で、当社の海外における建設マネジメント技術が飛躍的に伸張した。この実績はその後の鉄道案件に結びつき、世界各地から資機材や技術者を集め高度な

マネジメント技術を発揮しながらプロジェクトを遂行している。

5.2 鉄構

1987年以降の内需拡大により、鉄骨需要が増大し、構造種別においても初めて鉄骨造による着工床面積が木造のそれを上回り、空前の鉄骨ブームを招来した。1992年以降、バブル崩壊により景気は下降局面にあるが、それでもなお年間約1000万tの鉄骨需要があり、比較的高い水準が維持されている。過去5年間における鉄構分野の特徴は、工事量の拡大のみならず、より快適で生産性の向上を目指した空間を実現させることのできる鉄骨造や、建設労働者不足に伴う省力化指向の鉄骨が要求されてきたことである。前者は、より広い大スパン構造物や、超高層におけるより豊かな空間創出のためのスーパー・ストラクチャーを実現し、後者は、溶接ロボットを主とするファブリケーションの機械化・自動化をもたらした。このような動向のなかで、当社においても次のような諸施策により、鉄骨の量的、質的な面で大きな進展があった。

5.2.1 大スパン構法の開発

鉄骨トラスとPCケーブルを組み合わせたユニークなアイデアで、スパン200mの大空間を可能としたいわゆる「スーパーウイング構法」を開発した³⁴⁾。これは、スポーツ施設、物流・生産施設など幅広い分野で採用され、国内外で実績を積み重ねている。

5.2.2 リバーボックスラインの新設

超高層用ビル柱材としての4面組立ボックスの需要拡大に伴い、千葉製鉄所内に月産450tのリバーボックスラインを新設し1992年3月より順調に稼動を開始した³⁵⁾。これにより西部加工センターの月産1300tと合せ月産1750tを達成し、リバーボックス製造の東西両拠点を確立した。

5.2.3 溶接ロボットの開発

日本で初めてダブルトーチにより2箇所同時にコラム仕口部のダイヤフラムを自動溶接するロボット「サイボーII」を開発した。これに続き、サイコロ（ダイヤフラムを含むコラム仕口部）の製造を専業とする懶サイコロンを1989年3月設立し、サイコロの販売を開始した。また、柱梁接合部の溶接を自動化したいわゆる大組溶接ロボットの実用化にも成功し³⁶⁾、1992年10月販売を開始した。

5.2.4 超高層対応技術の確立

TMCP（熱加工制御）鋼や低降伏比590N/mm²級鋼など新構造材の溶接性や加工性³⁷⁾および極厚鋼の溶接方法の検討を行って、超高層ビル鉄骨の加工技術を確立し、市場ニーズに応えている。

5.2.5 建築構造用耐火鋼材（KSFR鋼）の利用技術の確立

KSFR鋼の開発に伴う鋼材の溶接性、加工性の検討と併行して、新耐火設計法に習熟することにより、KSFR鋼の利用技術を確立し³⁸⁾、自走式立体駐車場や線路上空建屋向けにKSFR鋼を適用した鉄骨受注の拡販を図っている。

5.2.6 安全協力会の充実

当社鉄構加工センターの設備増強のみならず、鉄骨生産パートナーの組織である「ED鉄構安全協力会」会員の充実を図り、全国ネットワークを確立した。これは、鉄骨量増大への対処、技術交流による鉄骨品質向上などの面で、当社鉄構事業展開を支える大きな力となった。

5.3 今後の展開

以上、建築分野を振り返ってみたが、今後は特徴ある製品・技術を世に送り出すと共に、大スパン、超高層さらには未来のスーパーストラクチャー向けに鉄鋼メーカーならではの鉄構、建築技術開発を進める一方、総合エンジニアリング技術をより一層磨きながら国

内外での地歩を築いていかねばならない。

6 建材分野

当社建材分野では、移り変わる社会のニーズに合わせて、鉄鋼メーカーの強みを生かし、鋼材を核とした技術開発を行ってきており、その歴史は製鉄所の建設とともに歩んできたといえる。すなわち、新しい技術的発想を製鉄所の構造物に実験的に適用し、さらに利用者の立場から見て、経済性、施工性、機能性に優れ、安定した品質の建材製品を開発し、鋼材の拡販を図るといった技術開発の実践的手法に大きな特色がある。大型溶鉱炉基礎として開発された鋼管矢板井筒工法を始め、埋立護岸のコルゲートセル工法、組杭式鋼矢板工法、H形鋼の利用技術の成果であるHフレーム、SRC構造におけるスーパーハイスレンドH形鋼など、いずれも製鉄所の建設で培われ発展して、世の中で高い評価を受けてきている。

さて、近年、都市部の過密化、機能集積は著しく、国土の狭い我が国では、生活空間の平面的展開には限度がある。このため、新しい空間の創造に向けて、高層空間、地下空間、ウォーターフロントへと活動範囲が広がっている。一方、建設を取巻く環境は多様に変化し、熟練労働者の減少、高齢化、3Kに起因する若年労働者の入職率の低下などの深刻な労働力不足に加え、労働時間の短縮、施工の安全性が求められており、労働環境の改善、生産性の向上が重要な課題となっている。また、建設に際して、特に市街地での騒音や振動問題、工事に伴う建設発生土や廃材の処理など建設公害への規制はますます厳しくなり、地球環境に負荷をかけない技術の開発が望まれている。構造物に対しては、機能だけでなく生活者への視点を重視する方向に変わり、周囲の景観と一体となった構造物として、景観設計への指向が強くなり、補修技術、耐久性の向上、メンテナンスフリーなど維持管理面のニーズも急速に高まってきている。

6.1 土木建材

上記のような社会的要請と環境の変化に対して、当社の土木建材分野の製品、工法開発においては、次のような取組みを行ってきた。

建設基礎分野では、低騒音、低振動で、かつ建設排土を伴わない「ドリル杭工法」を開発し³⁹⁾、周辺環境への配慮と安全でクリーンな現場の創出によって、労働環境の改善に大きく寄与した。この施工にあたってはドリル杭協会を設立し、関係会社との密な連携のもとに、工法の普及を図っている。また、高層化する建築物の基礎としての低騒音・低振動工法である「場所打コンクリート杭」と「リブ付鋼管」を合成させることにより、耐力向上と掘削土量の削減を図った⁴⁰⁾。都市部における土地や空間の有効活用の要求に応える土留壁として、H形状の高剛性壁体「Kドメール」を商品化し⁴¹⁾、低騒音低振動小型圧入機により狭あい地や上空制限のある場所での施工を可能にした。実用化から四半世紀を経た「鋼管矢板井筒工法」は、経済性、省力化、急速施工という優れた特長から、大水深での厚肉鋼管矢板を高効率に切断する「プラズマカッター」などの周辺技術の開発⁴²⁾と大型化する基礎の合理的設計法の改良研究も進めながら、この工法の発展を支えてきた。さらに、都市整備の景観づくりにおける多様なニーズに応えるべく意匠性土木建材への取組みも行ってきた。これには、道路空間に対し周囲の景観と調和した形状、色彩、素材に工夫をこらした「デザイン照明柱」、景観的にも優れた部材寿命を向上させた「耐風照明柱」、道路擁壁としての

「カラー鋼矢板」、河川の景観向上を図った「カラー鋼矢板とパネル護岸」などがある。その他、構造物の耐久性向上、メンテナンスフリーを目的とした鋼管杭、鋼矢板等の「重防食製品」、鉄筋コンクリートの劣化防止対策用としての「エポキシ樹脂塗装鉄筋」、施工が容易で熟練工も不要で信頼性の高い「ねじ鉄筋グラウト継手⁴³⁾」など、ニーズに応じた多彩な製品・工法の開発を進めてきた。

6.2 建築建材

建築建材は用途に応じ、構造系、非構造系及びシステム建材に分類され、前述のニーズの多様化、高度化に応えるべく、以下のとおりさまざまな新商品の開発・普及に注力してきた。

6.2.1 構造系建材

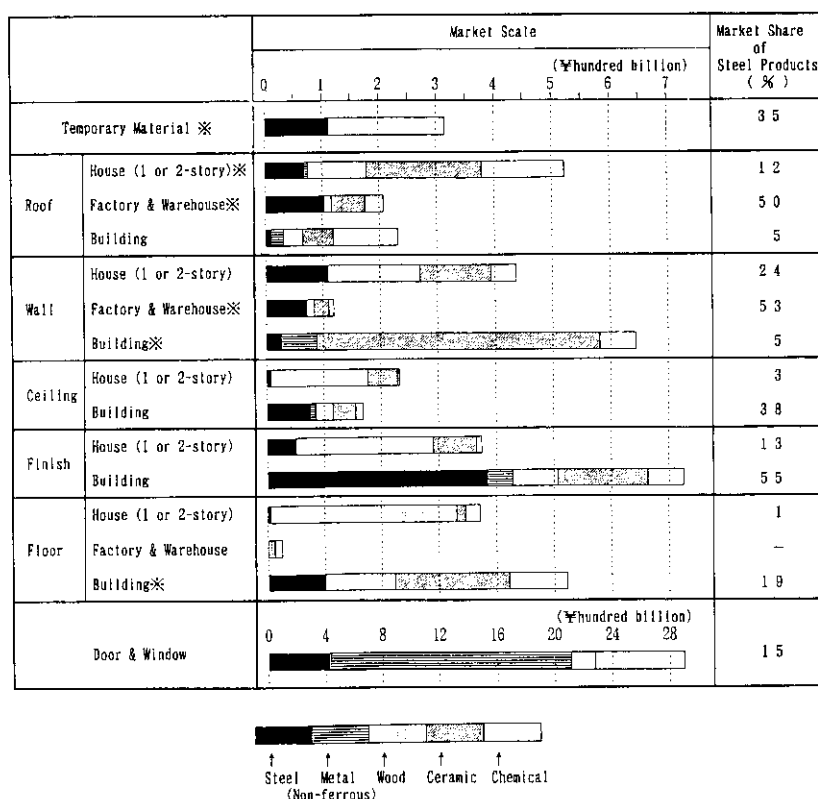
構造物の高層化・大型化、耐震設計法の発達を背景に開発した高強度・高性能新鋼材として、建設大臣認定を取得した「建築構造用TMCP鋼板(MAC 325, MAC 355)」や、日本で初めてSRC造に適用した「低降伏比590 N/mm²級鋼」がある。加工や施工の省力化を指向した高機能鋼としては、ビルトアップH形鋼の代替品として加工の省力化を図った「外法一定H形鋼(スーパーハイスレンドH)⁴⁴⁾」や、耐火被覆を省略すべく高温時強度を向上させた「建築構造用耐火鋼材(KSFR鋼)」がある。なかでも業界のトップをきって販売を開始した「スーパーハイスレンドH」は、年間60万tの市場規模にまで成長し、当社の主要商品の一つとして不動の地位を築くに至った。これらの新鋼材の実用化にあたっては、耐火設計など設計法の研究・開発や、新鋼材の建築構造用部材としての適用研究、実験的検証など種々の研究を行ってきた。また、「ロール成形コラム(KコラムR)」の冷間成形やH形梁のスカラップが構造性能におよぼす影響など基礎的研究も新商品の普及を支えてきた。

6.2.2 非構造系建材

非構造系建材は、部位別に見ると、仮設、屋根、外壁、天井、内装、床、開口部・建具用建材および機能材に分類される。材料的に

は鉄鋼系、非鉄系、木材系、窯業系および化学系となり、鉄鋼系の中でも供給者が高炉メーカー、専門メーカー、中小メーカーかによって取扱う品種も大幅に異なる。Fig. 1は部位別、材料別の市場規模を示した図である。この図の中で※印が、これら多種多様の非構造系建材の中で、高炉メーカー(関連会社を含む)が力を注いでいる分野である。非構造系建材は、市場に認知されるまでに長い時間を要する割には、商品自体のライフサイクルが短いという宿命がある。それだけに、商品開発や品揃えのむずかしい世界と言える。当社は、建材事業開発部、鋼構造研究所、建材グループ各社が協力して開発を進めている。仮設材では、軽量性、維持管理あるいは森林保護の立場から将来は木材から鉄鋼系へさらに切り替わっていくと予想されており、機動性、安全性を考慮した新製品開発を進めている。屋根のうち住宅用の屋根は依然窯業系が強いが、ステンレスやフッ素樹脂鋼板などの新しい感覚の材料が使われはじめており、機能、デザイン両面を追求しながら「プレーゲル」⁴⁵⁾などの商品群を開発してきた。工場倉庫用の屋根材は、アスベスト問題への対応が求められるなかで、前述のフッ素樹脂鋼板やガルバリウム鋼板などの長寿命鋼板の開発が進んでおり、素材から工事に至る一貫体制の確立を目指している。工場倉庫の外壁は近年、断熱・防音などの観点から高機能化が進んでおり、従来の角波折板に木毛板を裏打ちしただけといった壁にかわって、断熱パネルなどの新しい壁材がシェアを伸ばしていきと思われる。ビル外壁は窯業系とアルミ系が高いシェアを保っているが、現場施工型や湿式工法型商品が減少し、中層ビルにもカーテンウォール化が進められるなかであって、ステンレス鋼板、フッ素樹脂鋼板などの高級建材に対するニーズが高まっており、素材メーカーとしての有利性をフルに発揮しながら、新製品の品揃えを急いでいる。床下地材については、コンクリート型枠材としての木材の減少という時流に加え、ビルのインテリジェント化やOA化が進められているため、鉄鋼系のフラットデッキや高機能合成床板が、今後需要が伸びる建材として期待されている。機能材としては、耐火、断熱、遮音などの基本機能を全て具備した

Fig. 1 Market scale of non-structural products for buildings



材料としてロックウールが広く使われているが、施工の合理化などの時代のニーズに対応して、それ自体強度や意匠性を持つ機能建材化が求められており、その方向での商品開発を鋭意進めている。

6.2.3 システム建材

システム建材は、都市型の中小ビルを対象として、個々の部位建材を組み合わせグループ製品の総合化を図ったもので、設計から施工・メインテナンスに至る一貫体制を備えた、いわゆる「システム建築」に適用される。当社は1993年4月、これを川鉄システムビル「エクセルコア」⁽⁴⁶⁾として販売を開始した。

6.3 今後の展開

以上、土木、建築の建材分野に関し、最近の当社の技術動向と成果について概観してきた。国の施策は、日常の国民生活の質の向上に直接結びつくような生活関連分野への投資を重点指向している。このような社会動向の変革に伴うニーズを的確にとらえ、工法を含めより付加価値の高い建材製品の研究開発を推進していく考えであ

る。また、建材技術は、当社の土木・建築分野のエンジニアリング事業を支える核となる基盤技術としても重要な役割を果たすものであり、その発展に尽力しなければならないと考えている。

7 おわりに

川崎製鉄のエンジニアリング事業に関しては、1988年に土木建築特集号 (Vol. 20 No. 4)、1992年に建材特集号 (Vol. 24 No. 3) において、土木・建築・建材分野を中心に、その技術を紹介したが、今回、川崎製鉄の総合エンジニアリングの全貌を集大成することになった。エンジニアリング部門各分野における技術の流れ、特徴、さらには21世紀へ向けての展望を略述したが、これらを技術年表として巻末に整理したので合わせて参照されたい。当社は、今後とも社会的ニーズの変化を敏感に察知し、鉄鋼メーカーならではの特色ある総合エンジニアリング技術を提供し、厳しい環境の中にも夢のある事業展開を続け期待に応えていきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 梅垣邦一、竹蓋久仁男、木永直、秋月英美、渡辺清司、坂本勝：川崎製鉄技報，16 (1984) 2, 75
- 2) 多木俊男、大森孝育、野中節男：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 161
- 3) 岸本康夫、加藤嘉英、桜谷敏和、藤井徹也、山田純夫、大宮茂：川崎製鉄技報，21 (1989) 3, 168
- 4) 亀山恭一、西川廣、荒谷誠、朝穂隆一、田村望、山口公治：川崎製鉄技報，23 (1991) 2, 136
- 5) 柳沢忠昭、三芳純、坪田一哉、菊川裕幸、池谷尚弘、磯山茂、旭一郎、馬場和史：川崎製鉄技報，11 (1979) 2, 168
- 6) 三宅祐史、鎌田征雄、浜田圭一、広瀬勇次、小川洋三、豊島貢：川崎製鉄技報，16 (1984) 4, 235
- 7) F. Yanagishima, Y. Nakazato, H. Shimoyama, H. Sunami, Y. Ida, T. Haga, and T. Irie: *Iron and Steel Engineer*, 60 (1983), 36
- 8) 柳沢忠昭、田中輝昭、野田昭雄、武田了、森田俊、林宏之：川崎製鉄技報，14 (1982) 3, 324
- 9) 喜安哲也、飯田祐弘、重森晴美、菅沼七三雄、坂本実、岩本周治：川崎製鉄技報，23 (1991) 4, 327
- 10) 福田一美、加古登志夫、松添剛：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 221
- 11) 岩佐英一、松添剛、加古登志夫：「海水を用いた親水性水域の浄化手法」，アーバンインフラ・テクノロジー推進会議第4回技術研究発表会，(1992)
- 12) 林昭彦、木下勝雄、赤秀公造、山崎健利、下山統康：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 169
- 13) 山田常雄、小原光儀：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 165
- 14) 福若雅一、橋本修身、脇屋泰士、沖健、四宮秀夫、尾関史洋：川崎製鉄技報，24 (1992) 3, 201
- 15) Y. Wakiya, O. Hashimoto, M. Fukuwaka, T. Oki, and H. Shinomiya: "Ability of Dynamic Testing and Evaluation of Bearing Capacity Recovery from Excess Pore Pressure Measured in the Field," 4th International Conference of the Application of Stress-Wave Theory to Piles, Hague (Holland), September (1992)
- 16) T. Sakaki, I. Okumura, O. Hashimoto, J. Sakakibara, Y. Yoshioaka, Y. Wakiya, and H. Kusanagi: "Porosity, Permeability and Shear Strength (P * 2 S) Cross-well Tomography Experiments of a Noisy Foundation", The 2nd SEGJ/SEG International Symposium on Geotomography, Tokyo (Japan), October (1992)
- 17) 三好弘高、泉祐司、轟田徹夫：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 174
- 18) 堺信介、高祖恒雄、川添順風：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 179
- 19) 田中祐人、平本高志：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 223
- 20) T. Hiramoto, S. Okata, E. Kobayashi, Y. Nakano, A. Shiga, and S. Takizawa: "Computerized Prefabrication and Materials for the World's Tallest Platform, Bullwinkle", The 21st Annual OTC, Houston, Texas (U.S.A.), May (1989)
- 21) 古閑桂吾、平本高志、古室健史：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 183
- 22) 藤本智也、堀義春、加藤誠一、明石均、坪井潤一郎、斉藤通生：川崎製鉄技報，11 (1979) 3, 462
- 23) 藤本智也：配管技術，30 (1988) 7, 111
- 24) 寺本正、倉員繁、志村吉明：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 224
- 25) 岩見出起夫、松尾好純、小池武、今井俊雄：川崎製鉄技報，24 (1992) 1, 13
- 26) 加藤誠一、寺本正、菅原敏明、前田諭、米田正彦：川崎製鉄技報，20 (1988) 4, 299
- 27) 前田諭、横山昭男、堺信介：川崎製鉄技報，18 (1986) 1, 90
- 28) 藤本智也、福原昇：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 192
- 29) 赤秀公造、藤本智也、永野栄二、佐々木實、竹内卓、土井初治：川崎製鉄技報，20 (1988) 1, 83
- 30) 小池武、今井俊雄、中野昭三郎：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 188
- 31) 工藤秀次、濱口孝志、岩崎隆：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 205
- 32) 長谷川欣也、木村正夫、浦等、高橋功、秋田充徳：川崎製鉄技報，20 (1988) 4, 366
- 33) 上月孝之、金谷正豊、一ノ瀬満郎：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 210
- 34) 小阪清、武元弘之、橋本順次、藤澤一善、山本昇、小泉秀夫：川崎製鉄技報，20 (1988) 4, 315
- 35) 永易正光、廣紀治、平岩研三：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 196
- 36) 福原昇、志賀厚、橋本順次、安田博和、中島松重、則長保南：川崎製鉄技報，23 (1991) 1, 43
- 37) 永易正光、安田博和、弟子丸慎一、藤野博、内田清：川崎製鉄技報，22 (1990) 1, 29
- 38) 高田寛、橋本順次、梅沢誠芳：鉄構技術，5 (1992) 48, 43
- 39) 西澤信二、橋本正治、日笠義男：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 229
- 40) 橋本正治、江面行正、大久保純美弘：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 231
- 41) 石沢毅、三浦聡、篠原雅樹、城郁夫、森川孝義、田中祐人：川崎製鉄技報，24 (1992) 3, 184
- 42) 藤田勉、井村英俊、赤秀公造、小関楯志、橋本正治：川崎製鉄技報，20 (1988) 4, 279
- 43) 原健二郎、豊原登志、宇都宮紳三：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 232
- 44) 志賀勝利、土井彌彦、朝生一大、阿部英夫、橋本順次、山口勝：川崎製鉄技報，23 (1991) 1, 1
- 45) 小沢啓二、永阪純雄、長田実：川崎製鉄技報，20 (1988) 4, 351
- 46) 石嶋正美、吉尾正彦、池島正員：川崎製鉄技報，25 (1993) 3, 228