

高砂熱学における技術開発の歩み

佐部利俊和・井上正憲

柴田克彦・谷野正幸

Progress of Technology Development at Takasago Thermal Engineering since Establishment 1923

Toshikazu Saburi・Masanori Inoue
Katsuhiko Shibata・Masayuki Tanino

高砂熱学工業は 2023 年に創立 100 周年を迎えた企業である。1923 年の創立以来、当社は多くの施設の空調設備の設計・施工を行ってきた。これまで、顧客や社会のニーズに対応するために、技術開発を継続し、新しい商品と顧客価値を提供してきた。本報では、当社における技術開発体制の変遷、および主な技術分野における技術開発の歩みについて紹介するとともに、未来に向けた技術開発について提言を行う。

1. 技術開発体制の変遷

当社は 1923 年（大正 12 年）の創立以来、空気調和設備のパイオニアを自負し、自らの設計・施工の経験をもと「空気調和技術」の確立・発展に寄与してきた。さらには、時代と共に変化する顧客や社会のニーズをタイムリーに捉えた技術開発を行い、事業を展開してきた。ここでは、これまでの 100 年の歴史における技術開発体制や施設整備の主な変遷について紹介する。

1923 年に、前身の高砂工業の煖房工事部の在籍人員がそのまま移籍し、高砂煖房工事株式会社として創立した。社員 23 名のうち技術系 14 名の体制で、それぞれが開発・設計・施工の全ての業務を担当していたと思われる。当時は、米国や欧州から輸入した機器類が多く、国産化が待ち望まれていた。このような背景のもと、当社は国内メーカーとも連携しながら、高砂荏原式ターボ冷凍機をはじめとする様々な機器やシステムの開発・設計・製造に関わってきた。創立以来「技術の高砂」を標榜し、「ないものは、自分たちで創る」という当社の企業風土は、この頃から育まれてきたものと思われる。

1962 年（昭和 37 年）には、初めて本社組織に研究開発を専門的に担当する技術企画部を設置した。当部は各店と協力して、これまで個人や各支店に蓄積されてきた固有技術を全社的に統一・標準化し、図 1 の様な「施工規格」「設計基準」として各店へ配布した。併せて、米国や欧州の先進技術や新商品の調査研究も精力的に行っていた。

1968 年（昭和 43 年）には、仙台技術研究所（後の仙台分室）を設置し、隣接する東北大学と連携して技術開発を行ってきた。ここでは、伝熱に関する基礎的な実験研究、海苔や牧草の乾燥装置の開発、松茸の人工栽培の研究など、様々な研究や技術開発にチャレンジしていた。図 2 に当時の仙台技術研究所での実験風景を示す。



図 1 施工規格・設計基準¹⁾



図 2 仙台技術研究所の実験風景¹⁾

続いて 1971 年（昭和 46 年）には、厚木技術センター（後の厚木実験所）を設置し、海水冷却塔の性能試験、噴霧乾燥装置の試験、高炉送風除湿装置の研究など、産業用機器の技術開発に取り組んだ。

1984 年（昭和 59 年）には、同業他社に先駆けて厚木実験所の跡地に、本格的な研究開発施設となる総合研究所（後の技術研究所）を建設した。併せて、技術開発体制の整備も行うことで、幅広い分野の技術開発に取組み、空調業界の先駆けとなる様な新商品・新技術を創出してきた。

そして、2020 年に創立 100 周年記念事業として、茨城県つくばみらい市に共創による新事業の創出を目指した高砂熱学イノベーションセンターを建設し、技術開発体制の更なる強化を図った。本施設では、従来からの技術開発分野に加え、カーボンニュートラルに寄与する技術開発や、カーボンニュートラル事業の展開体制の強化を図った。図 3～4 に総合研究所、高砂熱学イノベーションセンターの全景を示す。

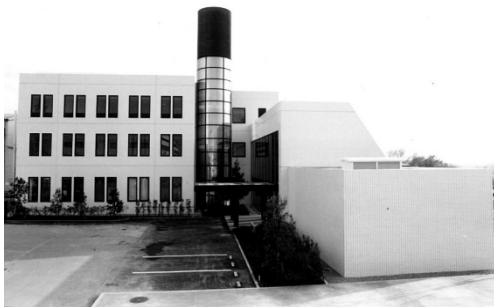


図 3 総合研究所(厚木市)¹⁾



図 4 高砂熱学イノベーションセンター(つくばみらい市)²⁾

2. 主な技術分野における技術開発

ここでは、当社の主要な技術分野における技術開発について紹介する。具体的には、クリーン化技術、湿度調整技術、水処理技術、気流制御技術、設備の運用・制御の最適化技術、熱源関連技術、およびエネルギー貯蔵技術に関する開発の歩みである。

2.1 クリーン化技術

本項では、電子デバイス製造用クリーンルームに関するクリーン化技術の歩みを中心に紹介する。

1960 年代は国内におけるクリーンルーム黎明期であり、当社もいち早く米国の先進技術やノウハウなどを学びながらクリーンルームの設計・施工技術を獲得していった。1963 年（昭和 38 年）には、クリーンルームの清浄度規格として米国連邦規格（FED-STD-209）が制定された。そして 1968 年（昭和 43 年）、当社として初めてクリーンルームの設計・施工（日本電装株式会社、現株式会社デンソー）を行った。本施設は IC 回路の研究用施設で、クラス 100 を含む 4 室を設計・施工した。当時は半導体の製造工程の知識も乏し

く、顧客とのコミュニケーションを重ねながら苦勞して設計図を完成させた。以降、精密機械・電子部品製造、製薬、病院などの施設でクリーンルームの建設が増加していった。図 5 には高砂層流クリーンルームの内部を示す。さらに 1975 年（昭和 50 年）には、本社別館 1 階（旧御茶ノ水本社）に図 6 に示す様な常設のショールームを開設し、クリーンルーム機器やプレハブ型クリーンルームを展示し、積極的に顧客開拓を行った。

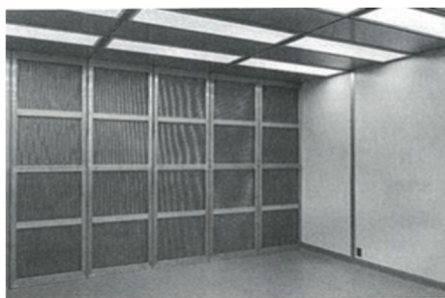


図 5 高砂層流式クリーンルーム¹⁾



図 6 本社別館の CR ショールーム¹⁾

1980 年代に入ると、クリーンルームの建設が相次ぎ、その規模も大型化していった。当社は図 7～8 に示す様な、自社開発のファンフィルターユニット (TFFU[®]) やタカサゴ多目的クリーンルーム (TCR Super MP[®]) といったクリーンルーム商品を開発し市場投入した。同時に半導体製造などの歩留まり向上を目的とした粒子汚染制御が要求されていたため、気流制御技術の蓄積や静電気対策用のイオナイザー (IRISYS[®]シリーズ) の商品開発も並行して行った。

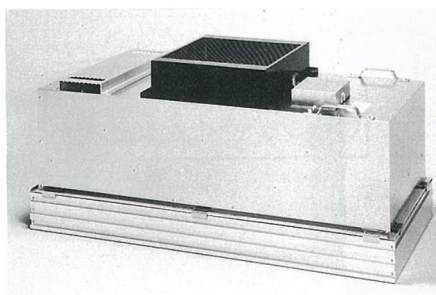


図 7 ファンフィルターユニット(TFFU[®])¹⁾



図 8 高砂多目的クリーンルーム(TCR Super MP[®])¹⁾

1990 年代に入ると、クリーンルームでの要求が粒子汚染制御に加え、ガス状物質などによる分子汚染制御へと変わってきた。この様な背景より、当社においても開発テーマの見直しを行い、クリーンルームの空気循環系ではケミカルフィルタ (TIOS[®]シリーズ)³⁾、外気導入系では図 9 に示すケミカルワッシャー[®] (T-GET[®]シリーズ)^{4,5)}の開発・市場投入を行い、顧客ニーズに応じてきた。併せて、クリーンルーム構成材からの脱ガス放出に関する評価⁶⁾を行い、データベース化することで脱ガスに配慮したクリーンルーム設計を支援した。

2000 年代以降は、製造環境の局所化（ミニエンバイロメント）が進み、生産装置内部でのクリーン化が行われる様になってきた。そのため、クリーンルームへの清浄度要求は大きく緩和された。この様なニーズの変化に対応するため、当社は生産装置向けのクリーンドライエア供給装置 (CDASS[®]シリーズ) の開発を行い商品化した。また、クリーンルームシステムとしては、生産装置の周囲空間（設置高さ程度まで）のみをクリーン化することができ、極めて省エネルギー性能が高い TCR-SWIT[®]を商品化して展開を進めてい

るところである。図 10 に TCR-SWIT[®]の導入事例⁷⁾を示す。

これまで紹介した様に、当社におけるクリーン化技術は、顧客ニーズの変化にタイムリーに対応した商品を開発し、改良を継続することで、市場での競争力を維持してきている。



図 9 ケミカルワッシャー[®] T-GET[®]



図 10 TCR-SWIT[®]の導入事例⁷⁾

2.2 温湿度調整技術

温湿度調整は空調において基本となる技術であり、特に除湿環境や恒温環境は産業分野での特殊な製造環境として要求される場合が多い。ここでは、電池産業向けのドライルーム[®]用除湿機および IC 製造用露光装置向けの恒温チャンバーの開発の歩みについて紹介する。

1923 年の創立時より、繊維工業に代表される工場空間の温湿度調整には、専らエアワッシャーやエロフインヒータが用いられていた。1960 年代に入ると当社は新規分野として産業用除湿機に注目し、1970 年（昭和 45 年）には除湿装置メーカーの東亜工業株式会社から湿式除湿装置の製造販売に関する営業譲渡を受ける契約を締結する。さらに、1972 年（昭和 47 年）には除湿分野の補強を図るために、乾式除湿機（吸着ローターを内蔵）の技術を持つ株式会社バーナー・インターナショナルと販売契約を結び、除湿機技術の蓄積とシステム開発を行い、着々と実績をあげていった。

そして 1982 年（昭和 57 年）には、電池材料製造のためのドライルーム[®]を初めて納入した。要求される室内露点温度が -30°C であったため、2 段式乾式除湿機を用いて対応した。実績の増加とともにドライルーム[®]用の除湿機技術が社内に蓄積され、1997 年（平成 9 年）には図 11 に示す様な当社独自の省エネ型除湿機 WINDS[®]の開発に結び付き、以降 WINDS[®]シリーズとして商品のラインナップを増やし、ドライルーム[®]の受注に貢献してきた。

2021 年には、これまで除湿機開発で培った吸着ローターのハンドリング技術を活用し、図 12 に示す様な有機溶剤回収用のクローズド VOC 回収装置の開発を完了し、商品展開を行っている。本装置は吸着した有機溶剤を回収し、精製後に再利用することが出来るため、資源循環が可能な環境性の高い装置として評価⁸⁾されている。



図 11 省エネ型除湿機 WINDS[®]



図 12 クローズド VOC 回収装置⁸⁾

一方、IC 製造における高集積化が進むにつれ、特に露光プロセスでは清浄度の高い環境に加えて、温度変化の無い恒温環境が求められるようになった。当社は、1975 年（昭和 50 年）に、図 13 に示す様なクラス 100、温度変動 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内を保証する恒温クリーンルームを「サーマルチャンバ[®]」と称して開発し、翌 1976 年（昭和 51 年）に 1 号機を日立製作所武蔵工場へ納入した。以降 1980 年（昭和 55 年）までに 100 台を超える販売を行った。1985 年（昭和 60 年）には商品事業部が新設され、「サーマルチャンバ[®]」や前年に開発したタカサゴ多目的クリーンルーム「TCR Super MP[®]」などの販売を行った。当事業部は独立組織として、当社で開発した機器の営業からアフターサービスまでを担当していた。

さらに 1990 年（平成 2 年）には、図 14 に示す様な対象空間における温度変動 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 以内、温度分布 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 以内に制御することを可能とした「スーパーサーマルチャンバ[®]」を開発し、販売を開始した。当時、超 LSI の製造工程（露光工程）では、ステッパー（縮小投影露光装置）が大きな役割を果たしていたが、このステッパーが行う位置合わせの精度は、周囲の温度変動や温度分布による空気密度のゆらぎに左右されると言われていた。この開発では、独自開発の熱交換量調整装置や空気混合攪拌装置、送風機モータの冷却など、総合的な対策により従来機に比べて大幅に温度制御性能を高めることを実現した。

しかし、1992 年（平成 4 年）には競合他社の参入などで、ビジネスとしての旨味が減ってきたこともあり、サーマルチャンバ[®]の製造販売を中止することになった。以降、開発を通じて培った恒温技術は類似物件などで活用されている。



図 13 サーマルチャンバ[®]の調整風景¹⁾



図 14 スーパーサーマルチャンバ[®]外観⁹⁾

2.3 水処理技術

当社の水処理関連技術の開発は、1970 年代の噴霧乾燥技術を用いた汚泥乾燥装置の開発、1987 年（昭和 62 年）の磁気ディスクや VTR 用磁気ヘッドなどの切削水用の磁気濾過装置「MAGCATCHER」の開発、1997 年（平成 9 年）のグリーストラップ「バイオマックス」の共同開発など、散発的に行われていた。

2000 年頃から水の循環利用技術の構築を最終目標として、本格的かつ組織的に取り組みを開始した。ここでの技術開発は、物理的処理技術と生物処理技術を中心に行われた。2010 年（平成 22 年）には、海外の水資源が不足している地域での水の再利用を目的とした電気透析水処理技術を開発した。翌 2011 年（平成 23 年）には、活性汚泥処理においてバルキング障害防止・処理水量の増加・汚泥の減容化を狙ったオゾン利用排水処理システムを開発した（図 15 は開発時の実験風景）。2013 年（平成 25 年）には、配管施工後に行う管内洗浄時の洗浄水を浄化することで、排水自体を無くすることができる「排水レスフラッシング[®]工法」を開発した。図 16 に同工法で用いるフラッシング水の浄化装置を示す。さらに 2014 年（平成 26 年）には、使用済み RO 膜を再利用することを目的とした RO 膜洗浄リサイクルサービスを開発した。当社での水処理に関する開発技術の中には、コスト優位性や市場性の面で上市に至らなかった技術も幾つかあるが、当社における水処理技術の蓄積は着実に進んできている。そして、一部の商品やサービスはグループ会社などを通じて現在も顧客への提供を続けている。



図 15 オゾン利用排水処理システムの実験風景



図 16 排水レスフラッシング®工法で用いる水浄化装置¹⁰⁾

2.4 気流制御技術

ここでは、当社が携わった気流制御技術の変遷を主に一般空調の事例で記す。図 17 は、震災後三越本店の修築に際して建設された 1927 年（昭和 2 年）竣工国内初の温湿度調整装置を施した収容人数約 650 名の劇場である¹¹⁾。空調の吹出口を図 18 に示す。左右壁面の上部に設けられた吹出口は、内装に善美を尽くし壮麗目を醒ましめると当時表現された意匠に引けを取らない美しさである。以降、今日に至るまで気流制御は居住空間の上部から吹き降ろす混合かく拌方式が主流となっている。ちなみに、観客席の上部に吹出口があるもののダクトと吹出口の風速を極端に遅くすることで、特別の消音を行わなくとも差し支えなかったようである。

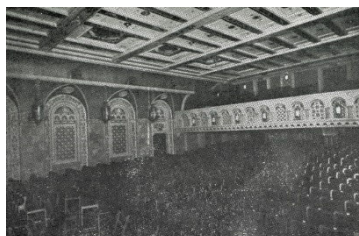


図 17 三越呉服店演芸場¹¹⁾

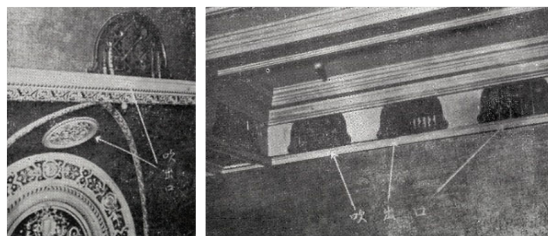


図 18 壁面上部の吹出し口¹¹⁾

ところで、冷房においては自然対流により熱ブルームが発生することから、居住空間の下部から冷気を供給する方式が利にかなっている。特に、事務所ビルの 10 倍以上の顕熱負荷が発生する電算機室では、逸早く床吹き出し方式が採用された。図 19 に電算機室用空調気流方式の分類を示すとおり、床吹きの有無で大別される¹²⁾。この文献は、ASHRAE ガイドライン¹³⁾にも引用されていることから、分類の原型と思われる。以降、現在に至るまで電算機室の空気気流方式は、床下プレナムチャンバーから居室に吹出す床吹き出し方式が主流である。なお、ラック列が整然としホットアイルが区画されているデータセンターでは、後述の壁吹き方式が導入され始めている。図 20 に電算機室用空調の代表例を示す¹⁾。ここでは、床吹き出し方式と天井吹き出し方式を併用し、信頼性の面で設備機器、配管とも 2 ウェイバックアップシステムを採用、また当社開発の設備診断システム（後述の SIGMAT[®]シリーズ）を導入した。

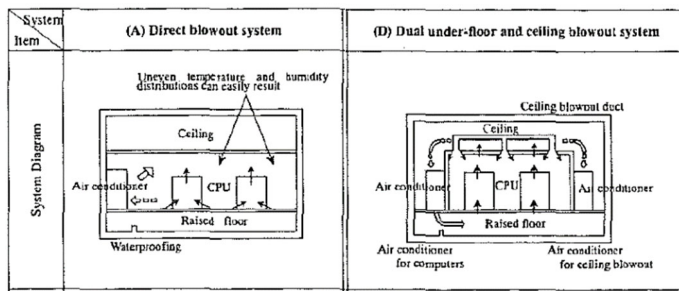


図 19 電算機用空調方式の例(1967 年)¹²⁾

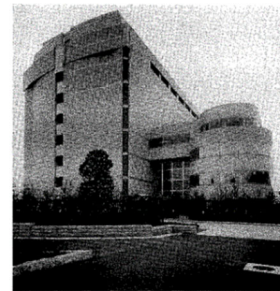


図 20 全信連厚木システム開発センター¹⁾
(現 信金中央金庫システム開発センター)

大型電算センターの開設は、オフィスの IT 化を推進した。この時ブームとなったのが 1983 年（昭和 58 年）アメリカ・コネチカット州ハートフォードに建てられたシティプレイスを始めとするスマートビル、日本ではシェアテック社が唱えたインテリジェントビルである。当社では、1984 年（昭和 59 年）東京六本木の日本アイ・ビー・エム本社 6 階のモデルフロア工事ほか、数々の施工を展開した¹⁾。インテリジェントビルの出現は、空調方式を進化させたエポックといえる。特に、①空調ゾーンのモジュール化とそれに伴う個別分散化、②OA 機器による局所的発熱と空間を共にするペリメータの環境向上、③フリーアクセスフロアの導入、は執務室に水配管を持ち込まないオールエアー方式の導入を促進させた。

オフィスビルへの床吹出し方式の導入は、1986 年（昭和 61 年）竣工の香港上海銀行を皮切りに 1989 年（平成元年）竣工のイトーキのショールーム、1990 年代に入ると熱効率の良さから大江戸博物館や六本木ヒルズなど天井高の高い空間に導入されてきた。当社も床下有効高さ 100mm の低床対応という特徴ある床吹出し空調システム LUFT[®]を開発した^{14),15)}。図 21 に LUFT[®]採用案件で実施した性能検証の様子を示す¹⁶⁾。奥行き長い変形のプレナムチャンバーにて冷気が端部まで到達し、均一に給気できることを確認している。また、床上 250、750、1250mm の位置に模擬発熱負荷の提灯を取り付け、熱プルームを再現させている事も記しておきたい。その後、個別空調対応として吹出し口に可変風量機構を設けた LUFT[®]-VAV へと進化させている¹⁷⁾⁻¹⁹⁾。

当社技術を実在物件に導入する際には、試運転段階および運用段階での検証が欠かせない。図 22 に示す事例は、3 方の壁面に配置したパンチングパネルから緩やかに空調空気を供給する大型精密機械組み立て工場での検証の様子である。模擬負荷には、養生シートで大型精密機械を模倣し、内部に石油ストーブを設置した²⁰⁾。

本節の最後に壁吹出方式の事例を紹介する。床吹出し口の開発で獲得した旋回ベーンの技術を壁面に応用し、従来の置換空調用吹出口に比べ表面積を 1/3 に小型化した旋回流誘引型成層空調システム SWIT[®]を開発した¹⁵⁾。図 23 に床上 7.5m までの空間を恒温、低気流速を実現した事例を示す²¹⁾。SWIT[®]は換気効率の良さを活かして、清浄度レベルの比較的緩やかなクリーンルームへと展開している²²⁾。また、壁吹出方式は先述の電算センターにも応用し、図 24 に示す送風動力を従来の 1/3 に低減できる IDC-SFLOW[®]を開発導入した^{15),23)-26)}。

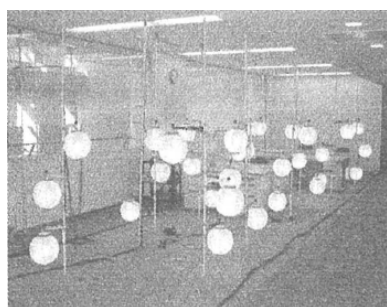


図 21 床吹出し空調システムでの検証事例¹⁶⁾

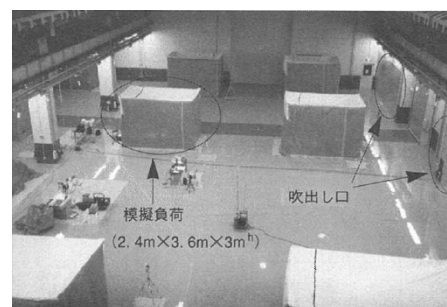


図 22 壁吹出空調システムでの検証事例²⁰⁾

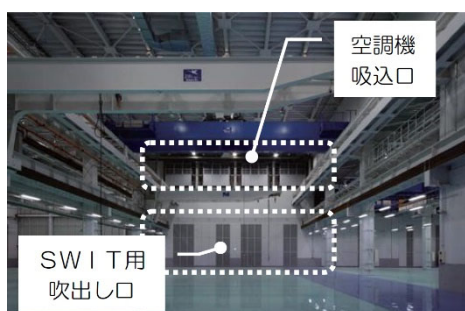


図 23 旋回流誘引型壁吹出方式 ²¹⁾



図 24 データセンターの壁吹出方式 ²⁶⁾

2.5 運用・制御の最適化技術

1983 年（昭和 58 年）経営計画「新事業・新技術の基本的方向について」では、熱工学および流体力学に理論的根拠を置く「熱と物質の移動」の基軸技術に加え、新しい電子工学に裏付けされたインテリジェント・コントロール・システム技術を第二の基軸技術とし、開発に注力してきた¹⁾。

当時の開発を牽引した基盤技術と言え、8 ビットマイコンとトランジスタ・インバータである。図 25 にザイログ社の 8 ビットマイクロプロセッサ Z80 を搭載した制御ボード ²⁷⁾を示す。このボードは、PLC(Programable Logic Controller)が無い時代に、狙いの動作で自動制御を行うため設計から試作まで当社独自で開発したものである。また参考として図 26 にトランジスタ・インバータ使用したインバータ装置を示す。これらの基盤技術は、制御機器メーカーがまだ取り組んでいなかった「回転数制御」を用いた省エネ運転システムの開発につながった。さらに、急速に普及が進んでいた PC に当社独自のソフトウェアを組み込み、システム化技術として TIS 商品を開発した。図 27 に TIS 商品のシリーズを示す^{1),27)}。

- ① SECTA[®]シリーズは、省エネ運転と省力化のための自動制御システムである。制御基盤と AI/AO、DI/DO ボードを筐体に組込んだ通称「青箱」と、インバータ装置、通信ユニットで構成されている。
- ② DELTA シリーズは、微小変量を意味するデルタからネーミングされた。1980 年代パイオセーフティ設備への高まる要望に応えるため、室圧の高精度制御を逸早く開発している。このラインナップには、給気風量と排気風量のバランスから隣接する室間差圧を一定に保つ微小差圧制御、気密仕様の耐圧チャンバー内の圧力を一定に保つ絶対気圧制御がある。
- ③ SIGMAT[®]シリーズは、総和、集積を意味するシグマからネーミングされた。

この時期、設備規模の拡大と機能の高度化、システムの複雑化が進展し、設備管理は従前の技の練達では対応し切れなくなっていた。当社では、計測とシミュレーション技術、人工知能技術を駆使して設備のエネルギー管理、機器の異常検知、保全管理などのシステム商品をラインナップした。

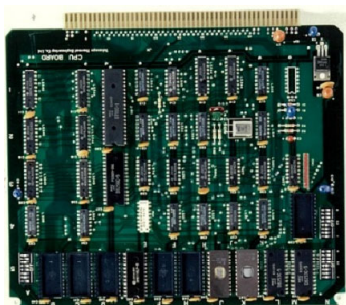


図 25 マイクロプロセッサ搭載の制御基盤 ²⁷⁾

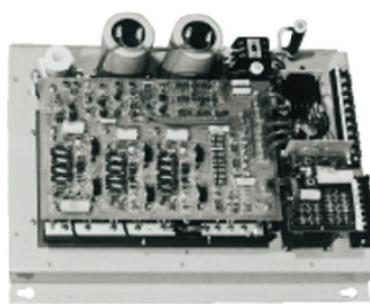


図 26 トランジスタ・インバータ搭載の電源基盤の例 ²⁸⁾

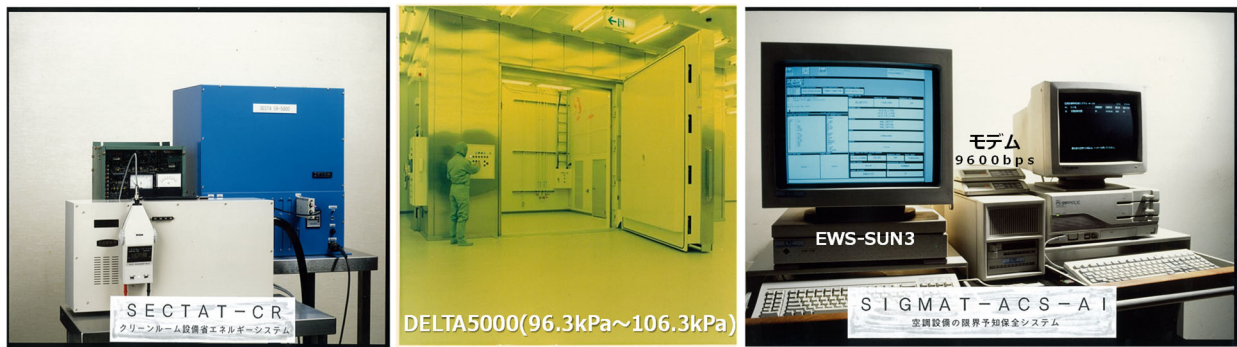


図 27 TIS(Takasago Intelligent System)シリーズ^{27),29)}

次に、通信ネットワーク関連の技術開発を紹介する。2000 年代になると、プラント設備で導入されていたオープンネットワークが業務用設備にも導入され始めた。先駆けとなる後楽森ビルで LonWorks の特質を経験した当社は、国内最大規模のオープン型ビルオートメーションシステムをシステムインテグレータとして纏めた。図 28 に六本木ヒルズ森タワーの空調中央監視システムを示す。各ネットワーク階層でオープン化技術を採用している。当時は汎用のゲートウェイが無かったため、機器メーカーと開発し導入してきた^{15),30)}。

最後に、TIS 商品の開発を第 1 ステージとすると、後継機開発の第 2 ステージ、近年の第 3 ステージについて紹介する。

第 2 ステージでは、データ収集・分析技術として 2005 年（平成 17 年）にデータ収集分析ツール GODA^{®15)}、計測+解析+評価のトータルシステム MAT[®]を開発した³¹⁾。統合制御技術として 1997 年（平成 9 年）インバーターボ冷凍機の利用を始まりとして熱源の最高効率を目指した高砂型統合熱源システム³²⁾、2006 年（平成 18 年）搬送動力の省エネを目指した分散ポンプ式空調用水循環システム GLIP^{®33)}、2008 年（平成 20 年）設備全体最適化を目指した最適運転制御システム E-CONtroll³⁴⁾を開発した。また、高精度制御技術として 2008 年（平成 20 年）微差圧制御システム LO-VST^{®35)}を開発し、バイオ・製薬関連施設に納入した。近年の第 3 ステージでは、ハードに付随するソフトの開発に取り組み 2015 年（平成 27 年）VAV 高速給排気管理システム i-Fume^{®36)}、およびソフトを汎用のパッケージ化した i-Fume^{® mini}³⁷⁾を開発した。現在では、AI を活用した GDoc[®]シリーズ³⁸⁾や EMS³⁹⁾の開発に取り組んでいる。

本節のまとめとして、運用・制御の最適化技術で開発してきたシステムの系譜を図 29 に示す⁴⁰⁾。

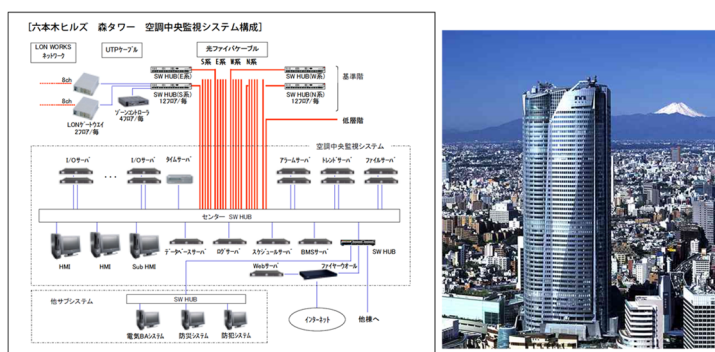


図 28 オープン化ネットワークへの取組³⁰⁾

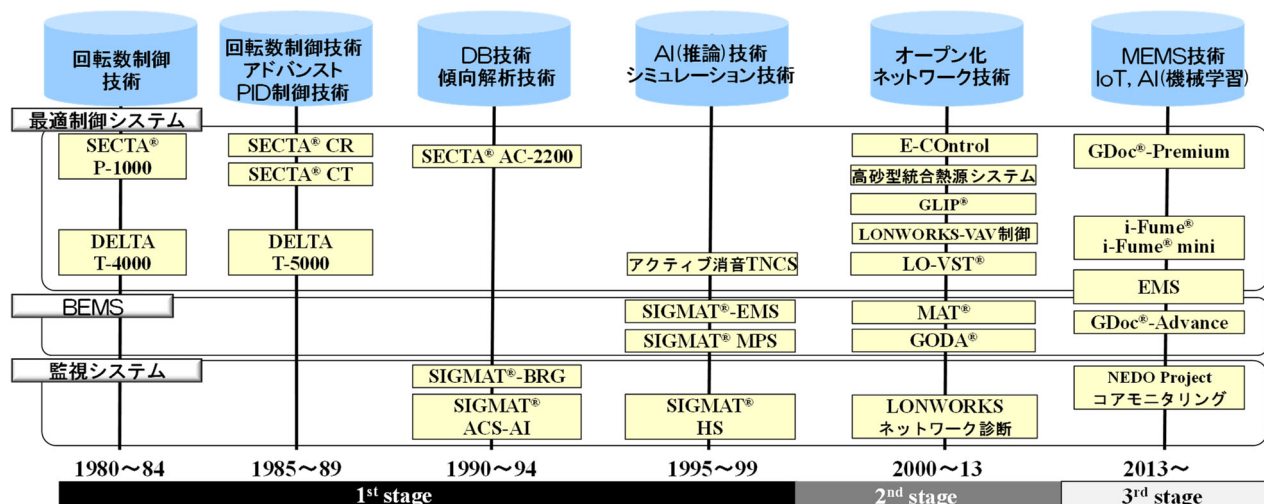


図 29 運用・制御の最適化技術⁴⁰⁾

2.6 熱源技術

1930 年（昭和 5 年）、高砂熱学工業と荏原製作所の協働によって、我が国で最初のターボ冷凍機（遠心式冷凍機）の試作機が完成した。この国産第一号のターボ冷凍機は、図 30 のように高砂荏原式ターボ冷凍機⁴¹⁻⁴³⁾と命名され、百貨店、劇場、紡績工業などの多くの空気調和設備として導入された^{1,11,41-46)}。1931 年（昭和 6 年）から 1941 年（昭和 16 年）までの納入実績は 104 台、計 18,500 冷凍トンに及んだ⁴¹⁻⁴³⁾。

柳町政之助氏は、当時の冷凍機のほとんどがアンモニア冷媒で、その悪臭や危険性・大きさや重量から、ビルの冷房用には不相当と感じていた。そこで、以前より注目していた、アメリカのキャリア博士の考案の Centrifugal Refrigerating Machine を輸入することを考えたが、非常に高価であったため、国産化を決意した。1929 年（昭和 4 年）、ターボ・コンプレッサの開発を目的にアメリカの技術を見聞すべく渡米し、帰国後、荏原製作所と図 31 に示すような 75 冷凍トンの試作機を製作した。こうして国産初のターボ冷凍機は、1931 年（昭和 6 年）、大阪の中之島の朝日ビルに 180 冷凍トン×2 台が導入され、全館冷房、温度湿度制御、遠隔制御の空調システムが採用された⁴⁵⁾。この朝日ビルは屋上にスケートリンクを設置するなど、当時の空調の最新技術を結集した画期的な施設であった⁴⁴⁾。



図 30 日本機械学会機械遺産第 42 号
「高砂荏原式ターボ冷凍機」⁴¹⁻⁴³⁾

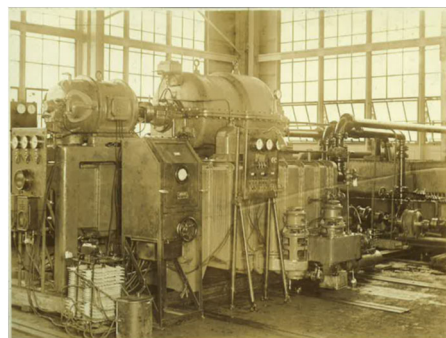


図 31 高砂荏原式ターボ冷凍機の
75 冷凍トンの試作機⁴³⁾

図 32 に、高砂荏原式ターボ冷凍機の開発試験機の概略構造を示す。図のように、蒸発器、圧縮機、凝縮器の三主要部分から構成され、圧縮機はターボ・コンプレッサであった。液管には膨張弁はなく、フロート式トラップによって自動的に円滑に液を蒸発器に戻すようになっていた。図 33 には、ここでの使用冷媒で

あるダイクロロエチレン $C_2H_2CL_2$ の当時の線図として、温度－エントロピー線図 (T - S 線図) を示す⁴⁴⁾。冷凍サイクルを説明する上で当時は、圧力－エンタルピー線図 (P - h 線図) でなく、 T - S 線図で説明されていたことが興味深い。

この後の1937年(昭和12年)には、京都電燈(株)本社(後に関西電力(株)京都支店、地下1階/地上8階、延床面積10,619 m²)に、高砂荏原式ターボ冷凍機130馬力(夏季100冷凍トン・冬季80冷凍トン)×2台による、ヒートポンプ式冷暖房システムが設置された^{42,43)}。

以上のような開発の経緯や技術内容のほかに、特許係争の中での「鬼検事といわれる琵琶田検事の取り調べ」など、多くの臨場感に溢れる記事もあるので、それらの詳細は参考文献⁴⁵⁾を参照されたい。

なお、現存する最古の高砂荏原式ターボ冷凍機は、高砂熱学イノベーションセンターに展示・保管されている²⁾。

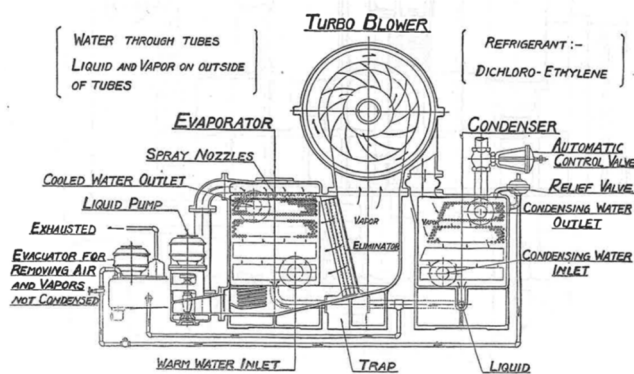


図 32 高砂荏原式ターボ冷凍機の開発試験機の概略構造⁴⁴⁾

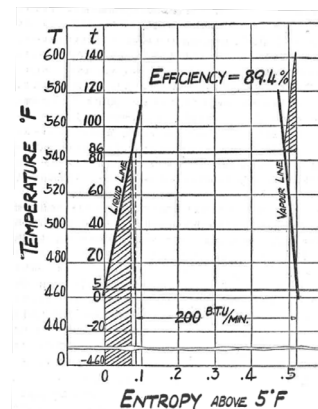


図 33 冷媒ダイクロロエチレン $C_2H_2CL_2$ の温度－エントロピー線図(T - S 線図)⁴⁴⁾

冷却塔は工業用水の再利用などを目的として、1907年(明治40年)に、室蘭の輪西製鉄所で大気式冷却塔が輸入・設置された⁴³⁾。現在のような強制通風式冷却塔については1938年(昭和13年)、高砂熱学工業によって図34のように日本水素工業(株)小名浜工場にて、わが国最初の向流型工業用冷却塔が設計・施工された。それ以降、図35のような製鉄所や石油精製所に、多くの工業用大型冷却塔が導入された。その当時は空調用の冷凍機の冷却水のために、冷却塔を採用した事例はなかった^{1,11,43)}。

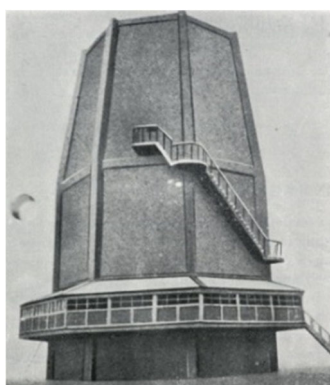


図 34 日本水素工業(株)小名浜工場でのわが国最初の向流型工業用冷却塔^{1,11)}

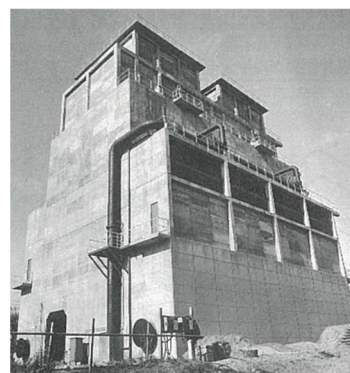


図 35 新日鉄大分での工業用冷却塔^{1,11)}

第二次大戦終結後、次第に強制通風式冷却塔は空調用にも採用され、冷却塔市場には多くのメーカーが参入した。さらに1960年代に入って空調の普及とともに、井水の汲み上げ量が増加して地盤沈下の問題が発生し、図36のような汎用冷却塔⁴⁷⁾の需要が大幅に増えることになった⁴³⁾。

その後、1970年代には次項で説明する地域冷暖房施設などにおいて、1基が3000冷凍トンという大容量冷凍機に対応するよう、図37のように空調用冷却塔では、大型化の開発がなされることになった⁴³⁾。



図 36 汎用小型冷却塔⁴⁷⁾

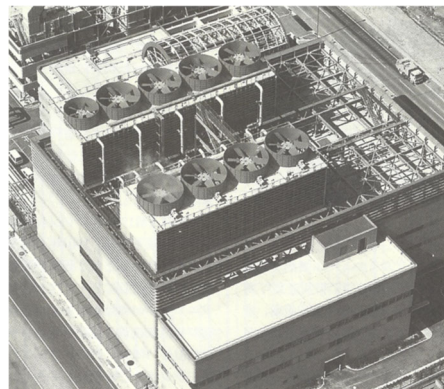


図 37 空調用の大容量冷却塔⁴³⁾

東京大学や東北大学などでの集中暖房の時代を経て、1970年（昭和45年）には、図38のような新宿新都心地区と大阪の千里中央地区において、わが国初の本格的な地域冷暖房設備が導入された^{1,42,43)}。その後、札幌市都心地区、幕張ハイテク・ビジネス地区、東京臨海副都心地区、光が丘地区、箱崎地区、後楽一丁目地区、丸の内一丁目地区、銀座5・6丁目地区、JR東海名古屋駅周辺地区、中之島二・三丁目地区、シーサンドももち地区など、多くの地域に地域冷暖房設備が導入され、国交省資料によると50地区の地域熱供給の事例リストが挙げられている⁴⁸⁾。

1972年（昭和47年）に熱供給事業法が公布・施行されて以来、公害防止、都市防災、省エネルギー、CO₂削減、都市美観の向上などの様々なメリットのために、図39のように多くの熱源技術の開発と実証がなされてきた⁴⁹⁾。その詳細は、関連学協会のサイトを参照されたい^{50,51)}。



図 38 地域冷暖房施設が施工されている
1970年当時の新宿新都心エリア¹⁾

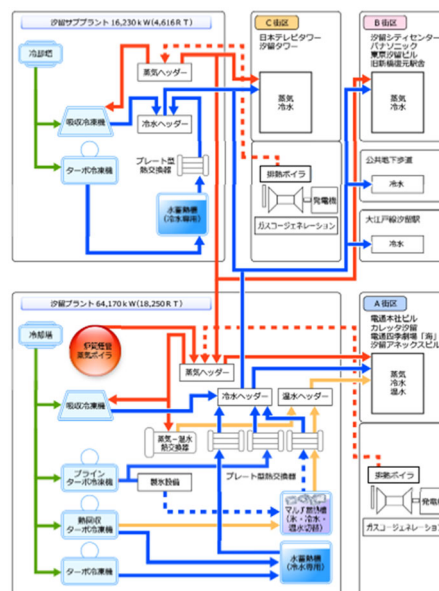


図 39 汐留北地区での地域冷暖房設備の概要⁴⁹⁾

ここではボイラや吸収冷凍機など、空調用の熱源技術として記載しなければならない機器開発の紹介ができていない。そこで、空調の技術開発における歴史の全体像を見るためには、関連学会の書籍^{42,43)}を参照されたい。

2.7 エネルギー貯蔵技術

1952 年（昭和 27 年）、日活多摩川撮影所（現、調布撮影所）に日本で初めて、柳町政之助氏の設計・施工による水蓄熱槽を活用した空調設備が導入された^{42,43,52)}。当時の導入目的は、スタジオ照明の有無による冷房負荷の大きな変動を蓄熱槽の採用によって吸収し、その結果、高価な冷凍機の容量を低減して空調設備費のコストの軽減を図ることであった。この建物の延べ床面積は 6170 m²、冷凍機容量は 60 冷凍トン、蓄熱水量は 200 m³であった⁴³⁾。蓄熱設備が記録されたビデオは、図 40 の高砂熱学イノベーションセンターのシアタールームで視聴できる²⁾。

柳町政之助氏は戦前から、太陽熱の暖房・給湯への利用のための蓄熱槽を研究していた⁴³⁾。そこで、ボイラや冷凍機の蓄熱運転に気づき、その実現のため、太陽熱の温水蓄熱でなく、冷凍機と冷水蓄熱槽の構成で実導入されたことは興味深い。

また、このような平面型の蓄熱槽は、外国には例がなく、とくにピット間の基礎梁の開孔に制限されて水流にむらができ、蓄熱効率が低下する。この流れの研究に関しては多くの優れた成果があり、1970 年（昭和 45 年）頃には、図 41 のように開孔前面に梁を設け、成層流れにする考案もなされ、水蓄熱槽の性能は大幅に向上した^{42,52)}。中原信生先生らは、蓄熱槽の設計と運転制御の実際面から蓄熱式空調システムの運転効率向上の方策を追求した⁵²⁾。

とくに我が国では、耐震のための建物の二重床を活用し、防食技術の石灰石含侵法¹⁾も開発され、水蓄熱槽は多くの建物で採用された。また、図 42 のような蓄熱槽効率に優れた、温度成層型水蓄熱槽の研究開発もなされ、多くの空調設備に導入された。この温度成層型水蓄熱槽に関しては、宮武修先生らによって、実験結果の詳細な解析と経験式の総括的な研究が行われた⁵²⁾。

柳町政之助氏は、このような水蓄熱や前述の高砂荏原式ターボ冷凍機だけでなく、躯体蓄熱システムや個別分散空調機など、先駆的な空調設備を開発してきた。限られた紙面では、これらを全て紹介することは困難であった。そこで、柳町政之助氏の技術開発の全体像を見るためには、是非、関連学会の書籍^{42,43)}を参照されたい。



図 40 高砂熱学イノベーションセンターのシアタールーム²⁾

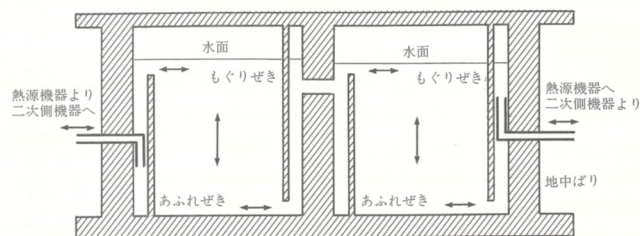
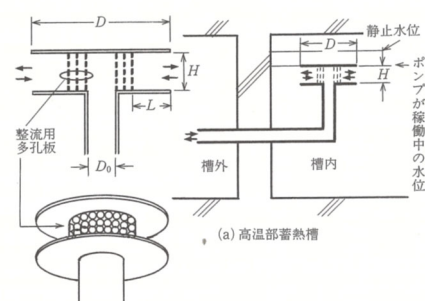
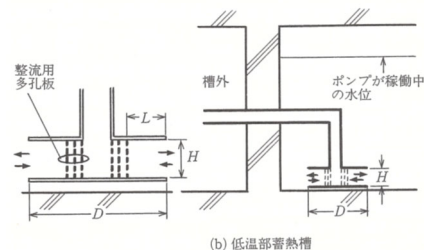


図 41 もぐりぜき型蓄熱槽の概念図⁵²⁾



(a) 高温部蓄熱槽



(b) 低温部蓄熱槽

図 42 温度成層型水蓄熱槽の整流用多孔板の設計⁵²⁾

前述のような水蓄熱による蓄熱式空調の導入の中で、1980 年（昭和 55 年）頃から、氷蓄熱システムが登場した。東京電力では容積縮小による蓄熱式空調システムの普及促進のために、1981 年（昭和 56 年）に高密度蓄熱研究会を社内に設置し、射場本忠彦先生らによって氷蓄熱システムの研究開発が盛んに行われた⁵²⁾。電力負荷平準化のため、電力会社の主導の下、図 43 のような (a) スタティック型や (b) ダイナミッ

ク型など、多種多様な氷蓄熱システムが開発された⁵³⁾。

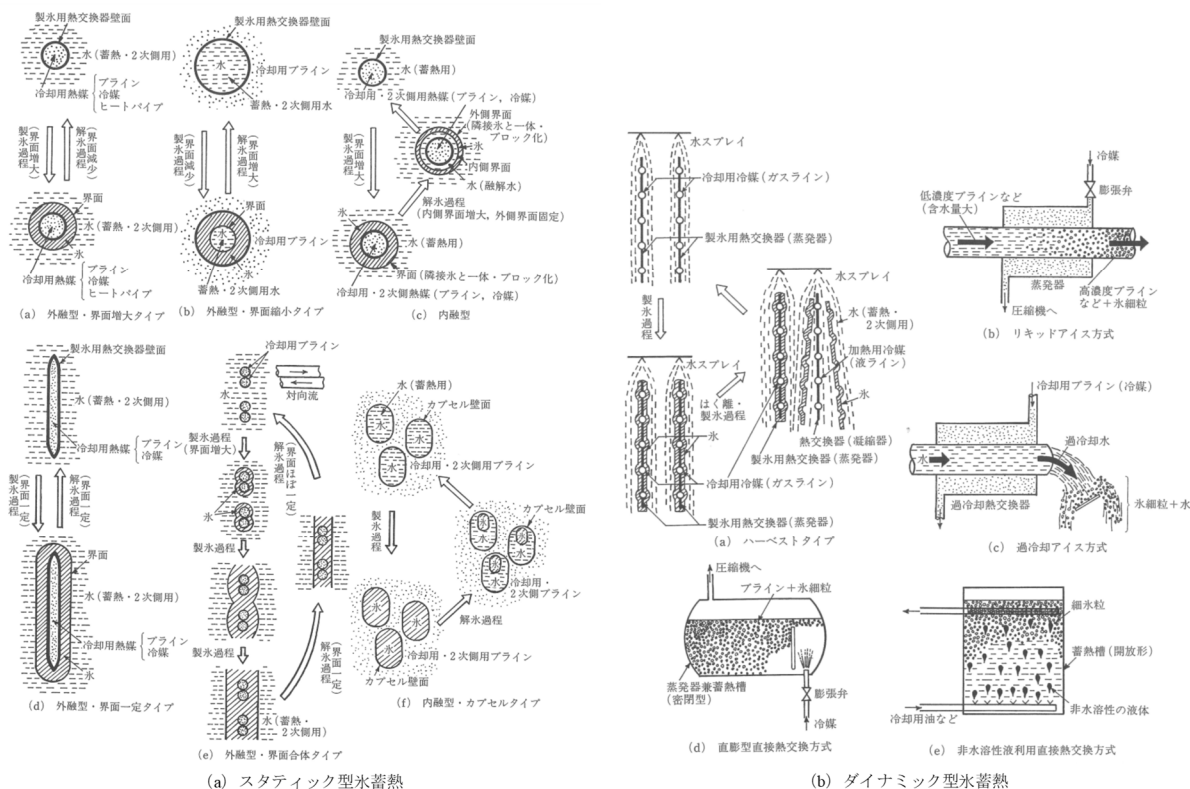


図 43 多種多様な氷蓄熱システム⁵³⁾

高砂熱学工業では 1986 年（昭和 61 年）以降、水の過冷却現象を利用したダイナミック型氷蓄熱システムである、スーパーアイスシステム（SIS[®]）が開発され、川崎の某工場に 1 号機が導入された。引き続き、大容量スーパーアイスシステム（大容量 SIS[®]）として、図 44 の幕張地域冷暖房施設での実証試験⁵⁴⁾を経て、図 45 の京都駅ビル⁵⁵⁾や汐留北地区での地域冷暖房設備⁴⁹⁾などに導入された。また、スーパーアイスシステム MII（SIS[®] MII）として、某乳業会社のチルド水供給設備^{56,57)}や某大学の集中熱源などに導入された。導入実績としては 1998 年～2009 年（平成 10 年～平成 21 年）で、納入件数 33 件・総冷凍能力 12,000 USRt・総蓄熱槽容積 9000 m³に昇った。その後、スーパーアイスシステム HF⁵⁸⁾（SIS-HF[®]）として、蓄冷熱利用でなく、図 46 のように魚などの鮮度維持のための氷スラリーが利用されるようになった。



図 44 幕張地域冷暖房施設での実証試験設備⁵⁴⁾



図 45 建設当時の京都駅ビルの外観⁵⁵⁾

蓄熱技術は、水蓄熱などの顕熱蓄熱、氷蓄熱などの潜熱蓄熱、水素吸蔵合金や吸着材も含めた広義の化学蓄熱に大別される^{52,53)}。顕熱蓄熱においては熱容量（比熱×比重）が大きく、また、潜熱蓄熱においては潜

熱量が大きく、かつ安価であり安全であることが蓄熱媒体には求められる。そこで、現在まで冷凍空調分野で上市されてきた多くの蓄熱システムでは、氷蓄熱を含めて蓄熱媒体には水が採用されてきた。

更なる蓄熱密度の向上とともに、吸着式ヒートポンプ、ケミカルヒートポンプ、およびデシカント除湿・空調システムなどの熱駆動サイクルのシステムのため、化学蓄熱剤などの研究開発がなされている。図 47 のように、各種のエネルギー材料について、エネルギー貯蔵密度と作動温度の関係が整理された。図には化学蓄熱、潜熱蓄熱、熔融塩系潜熱蓄熱、吸着式、水素吸蔵合金系（金属水素化物系）、燃焼、蓄電池系の材料が比較されている。従来型の顕熱蓄熱や潜熱蓄熱は、 100°C (373.15 K) 以下の温度域に分布し、化学蓄熱は 100°C (373.15 K) 以上の温度域で高い蓄熱密度を有することが示されている⁵⁹⁾。



図 46 平戸漁港での氷スラリー利用⁵⁸⁾

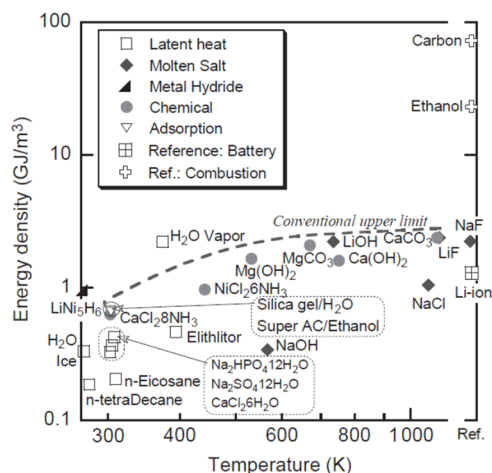


図 47 エネルギー材料の作動温度とエネルギー貯蔵密度の関係⁵⁹⁾

高砂熱学工業では 1996 年（平成 8 年）、水電解・燃料電池一体型セルと水素吸蔵合金から構成される水素利用システムを提案した。当時、安価な時間帯の系統電力や再生可能エネルギー由来の余剰電力で水素を製造し、それを水素吸蔵合金の充填タンクに貯蔵しておき、電力需要や熱需要があるときに貯蔵しておいた水素で発電して電力需要や熱需要を賄う、電力貯蔵・コージェネレーションシステムであった。図 48 に水素吸蔵合金タンクの試験装置を示す⁶⁰⁻⁶²⁾。2つの合金タンクを用いて、水素吸蔵合金ヒートポンプの実験も実施した。

また、吸着材蓄熱システムの実証開発についても、2014 年度（平成 26 年度）からの NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の事業として、図 49 のようなオフライン熱輸送システム（日野自動車）と定置型システム（石原産業）を実証した⁶³⁻⁶⁸⁾。ここでは、酢酸ナトリウムやエリスリトールの従来の潜熱蓄熱に比べて、蓄熱密度が高く、熱ロスの無い蓄熱システムの開発が目的であった。



図 48 水素吸蔵合金タンク⁶⁰⁻⁶²⁾



(a) オフライン熱輸送実証システム(日野自動車)



(b) 定置型実証システム(石原産業)

図 49 吸着材蓄熱システムの実証開発⁶³⁻⁶⁸⁾

3. 未来に向けた技術開発

高砂熱学は、1923年に高砂煖房工事株式会社としてスタートし、技術資料がまだない時期に自らの設計・施工経験より導き出した技術を纏め、「空気調和技術」を確立してきた。100年の歴史のなかで培ってきた『時代の要請や社会変化に応じて変革しつづける力』を強みと認識し、産業や社会の基盤を支える存在として『空気調和設備』を中心に技術開発に取り組み、事業を展開してきた。

今般、当社を取り巻く事業環境は劇的に変化している。足許では、世界情勢をうけての資機材不足、為替影響や人手不足による建築工程の遅延、労務費高騰などが懸念されている。地球温暖化は歯止めがかからない状態で地球沸騰化とまで言われはじめている。日本政府が発表した「2050年カーボンニュートラル宣言」によって、より一層脱炭素社会の実現に向けて各企業が、カーボンニュートラルやESGへの取り組みを加速させており、長期的な視点では、“2040年”が人口問題や気候変動問題による社会構造の大きな転換点であると予測している。図50に示すように、高砂熱学グループは未来に向けた取り組むべき社会課題として「建物環境のカーボントランジション」と「地球環境のカーボンニュートラル」を掲げている。

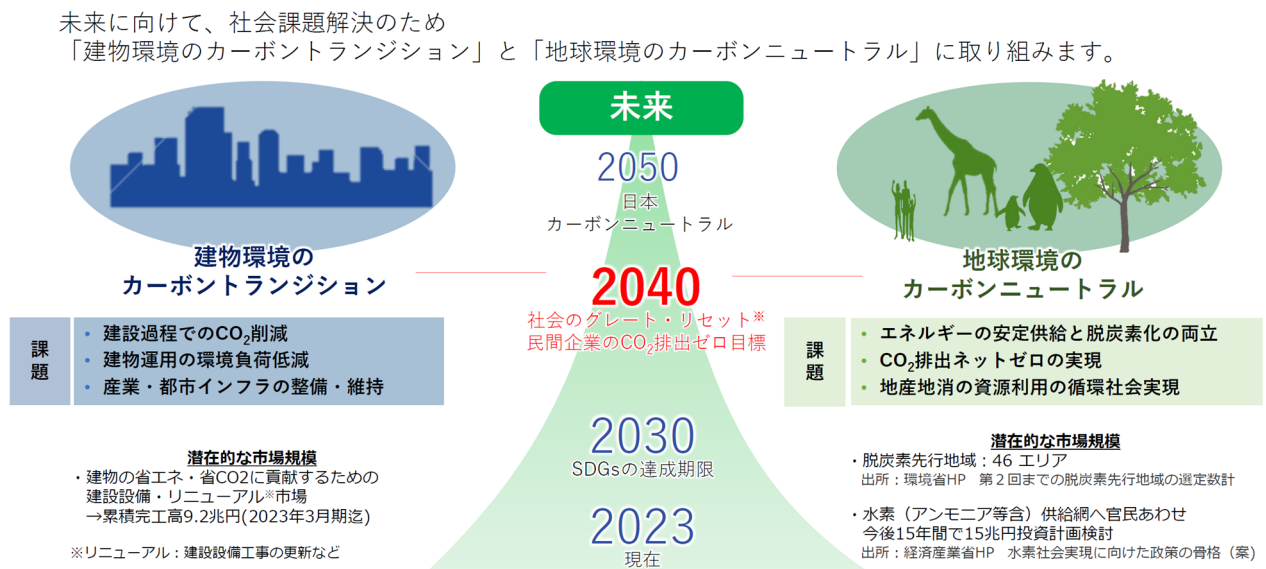


図50 高砂熱学グループが貢献する未来社会課題⁶⁹⁾

これらの課題解決に向けて当社研究開発本部は、これまで培ってきた温湿度調整技術、気流制御技術、クリーン化技術、水処理技術、熱源技術、エネルギー貯蔵技術、運用制御最適化技術を駆使して、技術開発を進めている。具体的な開発テーマをここに記すことは控えさせていただくが、「1. 建物の環境を創る」「2. 地球環境を守る」「3. 新たな環境に挑む」を三本の柱として、「地域社会に貢献する」も意識しながら研究開発を担っている。

「1. 建物の環境を創る」においては、業務用や産業用をはじめとするあらゆる建物の省エネと創エネを実現する建築設備、健康と安全を創る環境、知的生産性や製造生産性を向上させる環境を提供する技術の開発がその対象である。半導体製造用のクリーンルームや二次電池製造用ドライルームに関わるシステム、オンサイトでの再生可能エネルギー利用技術、パーソナル空調の展開が挙げられる。これらは比較的短期での開発を目指している。

「2. 地球の環境を守る」においては、水素関連技術、CO₂回収・利用・固定技術、資源循環利用技術、熱・エネルギー制御技術、脱地球温暖化ガス利用冷却加熱技術などに関わる技術開発を対象としている。建物やある程度の規模のエリアで使われる熱・エネルギーや資源をカーボンニュートラルにする技術、エ

エネルギーを有効に使いこなすための蓄エネルギー技術、さらにはエネルギーを使うと蓄えると創るをスマートに“ツナグ”システムも開発対象となる。これらは一部を除き、比較的中長期の開発を想定している。

「3. 新たな環境に挑む」とは、月面、宇宙空間などでの居住環境、エネルギー供給施設への挑戦、得られた知見や手法の地上技術へのフィードバック（デュアル開発とも呼ばれる）を狙っているものである。宇宙については全くの新参ではあったが、保有する水電解技術をベースとして既に開発実証に着手しており、有力な宇宙関連パートナーの協力も得ながら宇宙品質を習得中である。宇宙空間において人が生存していくためには、その居住システムは完全閉鎖系でなければならない。エネルギーを自ら確保し、資源を循環させ、極限の効率で、系外に依存することなく、システムを維持する必要がある。いわゆる ZEB（ネットゼロエネルギービル）コンセプトである。その他にも今求められる技術に繋がる要素が、宇宙開発には大変多いことに気付かされている。振り返れば、その時代にまだ存在しないが求められる技術の開発に先輩達は挑戦してきたわけであり、そのフロンティアが宇宙となって今我々にも近づいてきたとも言えるであろう。

「地域社会に貢献する」については、当高砂熱学イノベーションセンターも 2024 年 4 月で 5 年目を迎え、開設当初よりの地域の方々との交流を通じて、空調や環境に関する技術への理解を深めていただくことに、微力ながら貢献できていると感じている。特に未来を担う小中学生、高校生の皆さんが我々の取組に共感してくれることは、我々にとっても何よりの励みになっている。引き続き地域のみならず多くの方々との交流を通じて、開発のニーズや方向性を正しく把握したり、開発へのやりがいを感じたりすることで開発の効率向上につなげていきたい。

未来に向けた技術開発においては、カーボンニュートラルが外せないキーワードであることに言を俟たない。ただし、カーボンニュートラルが目的なのではなく、安心安全で快適な環境、ものづくりに最適な環境やユーティリティについて、その品質を低下させることなくカーボンニュートラルを成立させながら提供することが我々の目指す価値である。高砂熱学イノベーションセンターは、環境革新で地球の未来をきりひらく「環境クリエイター®」への進化の先導役となるべく、これらの価値提供を実現する技術開発に取り組んで参ります。

【執筆担当者】

第1章 技術開発体制の変遷	井上 正憲
第2章 主な技術分野における技術開発	
2-1. クリーン化技術	井上 正憲
2-2. 温湿度調整技術	井上 正憲
2-3. 水処理技術	井上 正憲
2-4. 気流制御技術	柴田 克彦
2-5. 運用・制御の最適化技術	柴田 克彦
2-6. 熱源技術	谷野 正幸
2-7. エネルギー貯蔵技術	谷野 正幸
第3章 未来に向けた技術開発	佐部利 俊和

文 献

- 1) 高砂熱学工業 70 年の歩み (社史), 高砂熱学工業 (株) 編, (1996).
- 2) 高砂熱学工業 HP 高砂熱学イノベーションセンター: <https://www.tte-net.com/lab/introduction/index.html>
- 3) 阪田総一郎, 高橋英人, 佐藤克己: 空気中の化学汚染の低減対策, 高砂熱学工業総合研究所報, 13, 85-93(1999).
- 4) 稲葉仁, 岡村典明, 高橋惇: エアワッシャーにおける親水性エリミネータの有効性, 空気清浄, 37(4), 39-45(1999).
- 5) 井上正憲, 五味弘, 青木秀之, 三浦隆利: 清浄水を用いた気液接触ガス吸収装置の特性解析, 空気調和・衛生工学会論文集, 75, 81-88(1999).
- 6) 五味弘, 三澤雄一: クリーンルーム構成材から発生する有機化合物の評価, 高砂熱学工業総合研究所報, 12, 93-100(1998).
- 7) 高砂熱学工業 HP 技術パンフレット(グリーン・エアテック): <https://www.tte-net.com/solution/pdf/gat.pdf>
- 8) 高砂熱学工業 HP プレスリリース: https://www.tte-net.com/article_source/data/news/files/20210604_1.pdf
- 9) 井上正憲, 池鯉鮒悟, 五味弘: 超精密温度制御技術, 高砂熱学工業総合研究所報, 13, 17-19(1999).
- 10) TMES 株式会社 HP ソリューション: <https://www.tm-es.co.jp/solutions/solution/>
- 11) 高砂熱学 50 年の歩み (社史), 高砂熱学工業 (株) 編, (1973).
- 12) Briken, M.N.: Cooling Computers, Heating, Piping & Air Conditioning, 39(6), 125-128(1967).
- 13) ASHRAE Committee formed to Establish Thermal Guidelines for Datacom Facilities, (2005).
- 14) 高橋惇, 孔鉄男, 中谷博, 大和瀬靖司: 加圧方式の床吹出し空調システムに関する研究, 高砂熱学工業総合研究所報, No.11, 45-52(1997)
- 15) 高砂熱学工業 90 年史稿 (社史), 高砂熱学工業 (株) 編, (2016).
- 16) 三橋太, 高橋惇, 高橋亘, 阿部哲也, 清水保夫: 低床加圧式床吹出し空調システムの性能実測, 高砂熱学工業総合研究所報, No.14, 89-96(2000)
- 17) 守屋寛之, 三橋太: 各部屋個別に温度制御可能な低床床吹出し空調システム(LUFT[®]VAV)の開発, 高砂熱学工業総合研究所報, No.20, 5-9(2006)
- 18) 守屋寛之, 鹿子島修: VAV 機能付き低床型床吹出し空調システム(LUFT[®]VAV)の性能検証, 高砂熱学工業総合研究所報, No.23, 26-32(2009)
- 19) 守屋寛之, 水出喜太郎, 鹿子島修: 環境調和型図書館の熱環境性能評価に関する研究, 高砂熱学工業総合研究所報, No.24, 31-40(2010)
- 20) 三橋太, 石塚圭一, 高橋惇, 孔鉄男, 清水昭浩, 河岡眞之, 大和瀬靖司: 温度成層型空調システムに関する研究開発, 高砂熱学工業総合研究所報, No.15, 63-72(2001)
- 21) 木村健太郎, 早川和男, 鈴木利幸, 守屋寛之, 柴田克彦: SWIT[®]の大空間恒温室への適用, 高砂熱学工業総合研究所報, No.23, 19-25(2009)
- 22) 守屋寛之, 木村健太郎, 柴田克彦: SWIT[®]を用いたクリーンルーム空調システム, 高砂熱学工業総合研究所報, No.25, 7-10(2011)
- 23) 相澤直樹, 高西浩, 木村健太郎, 柴田克彦, 矢部克明: IDC サーバー室向け側壁給気型空調システムの開発, 高砂熱学工業総合研究所報, No.25, 37-44(2011)
- 24) 相澤直樹, 柴田克彦, 木村健太郎, 池田昌弘: DC 向け壁吹出し方式空調システム「IDC-SFLOWTM」, 高砂熱学工業総合研究所報, No.26, 13-18(2012)
- 25) 相澤直樹, 渡辺慶一, 原豊, 高西浩: 郊外型のデータセンターにおける壁吹出し方式空調システムの試運転時の温熱環境検証, 高砂熱学工業総合研究所報, No.26, 27-32(2012)
- 26) 相澤直樹, 柴田克彦, 原豊, 高西浩, 三好隆, 広田博美, 内山隆康: グリーン IDC への壁吹出し方式空調システムの適用 試運転時の模擬負荷による温熱環境検証, 高砂熱学工業技術研究所報, No.28, 75-80(2014)
- 27) 高橋惇: 設備のインテリジェント化システムに関する研究開発, 高砂熱学工業総合研究所報, No.14, 3-20(2000)
- 28) <https://www.yaskawa.co.jp/product/inverter/history>, (2024/1 参照)

- 29) 伊藤雄偉, 川崎健二, 石塚圭一, 高橋惇: 環境制御に関する技術開発, 高砂熱学工業総合研究所報, No.14, 28-54(2000)
- 30) 世界最大規模のオープン型ビルオートメーションシステムを構築, 高砂熱学工業プレスリリース(2003.4.22)
- 31) 柴田克彦, 石塚圭一, 友田衛, 相澤直樹, 米沢仁: 計測+解析+評価の統合化技術の開発, 高砂熱学工業総合研究所報, No.18, 13-26(2004)
- 32) 永岡真紀, 杉山浩美: 統合型熱源システムの開発, 高砂熱学工業総合研究所報, No.20, 33-38(2006)
- 33) 増田正夫, 林利雄: 分散ポンプ式空調用水循環システム(GLIP[®]), 高砂熱学工業総合研究所報, No.22, 47-52(2008)
- 34) 柴田克彦, 米澤仁, 津田譲二, 茂森昭博, 今野一富: 設備全体の最適化制御システム「E-Controll」, 高砂熱学工業総合研究所報, No.22, 7-12(2008)
- 35) 柴田克彦, 米澤仁, 大神龍幾: 高安定性微差圧制御システム(LO-VST), 高砂熱学工業総合研究所報, No.21, 7-12(2007)
- 36) 青山剛士, 湯浅憲, 仲村慎一, 柴田克彦, 山口淳志, 入部真武: ヒュームフード向け高速給排気統合管理システム『i-FumeTM(アイ・ヒューム)』, 高砂熱学工業技術研究所報, No.29, 5-16(2015)
- 37) 青山剛士, 本井杏奈, 柴田克彦: パッケージ型ヒュームフード向け給排気管理システム『i-Fume mini』の高速 VAV マルチベンダ化, 高砂熱学工業技術研究所報, No.33, 3-8(2019)
- 38) 岡本英之, 池田俊明, 片山健一郎, 米澤仁, 柴田克彦: GDoc による熱源システムの運用最適化技術の開発, 高砂熱学工業技術研究所報, No.31, 55-62(2017)
- 39) Yuki Matsunami, Yuan Gao, Shohei Miyata, Yasunori Akashi, Katsuhiko Shibata, Kenichiro Katayama, Yoshihiro Hirahara: DEVELOPMENT OF A GRID INDEPENDENT ENERGY SYSTEM USING ENERGY SUPPLY AND DEMAND PREDICTION (Part 1) Concept and problem identification from operational data, 高砂熱学イノベーションセンター報, No.35(2021)
- 40) 柴田克彦, 岡本英之, 米澤仁, 高橋惇: 空調設備の運用・制御技術の開発, 高砂熱学工業技術研究所報, No.30, 65-80(2016)
- 41) 日本機械学会機械遺産: <https://www.jsme.or.jp/kikaiisan/#section1>.
- 42) 空気調和・衛生設備技術史: 空気調和・衛生工学会編, 丸善, 167, 292, 366(1991).
- 43) 日本冷凍史: 日本冷凍空調学会編, 日本冷凍空調学会, 98-99, 395(1998).
- 44) 山岸靖一, 大岩順二: ターボ冷凍機に就て昭和6年3月20日講演会に於て講演一, 衛生工業協會誌(現, 空気調和衛生工学会誌), 5(6), 397-430(1931).
- 45) 柳町政之助: 我が国に於けるターボ冷凍機の誕生を懐古して, 冷凍誌「ターボ冷凍機特集号」, 30(332), 218-222(1955).
- 46) 大岩順二: ターボ冷凍機始期の思出, 冷凍誌「ターボ冷凍機特集号」, 30(332), 223-224(1955).
- 47) 荏原冷熱システム丸小型冷却塔: <https://www.ers.ebara.com/product/maru/>.
- 48) 国交省/地域熱供給 50 地区の事例リスト: <https://www.mlit.go.jp/common/001113135.pdf>.
- 49) 汐留アーバンエネルギー: http://www.shiodome-ue.co.jp/heat_source_equipment.html.
- 50) 日本熱供給事業協会: <https://www.jdhc.or.jp/category/area/>
- 51) 都市環境エネルギー協会: <https://www.dhcjp.or.jp/about/>.
- 52) 蓄熱式空調システム 基礎と応用: 空気調和・衛生工学会, 丸善, 平成7年10月20日.
- 53) 関信弘: 蓄熱工学1基礎編, 2応用編, 1995年12月25日.
- 54) 第35回空気調和・衛生工学会賞「技術賞」審査資料, 過冷却水を用いた大規模氷蓄熱システムの開発: 空気調和衛生工学会, 平成8年10月30日.
- 55) Technical Tour of ICE STORAGE SYSTEM IN KYOTO STATION BUILDING, The 4th Workshop on Ice Slurries of IIF/IIR, 12-13 Nov., 2001.
- 56) 三戸大介, 万尾達徳, 谷野正幸, 松本浩二: 氷スラリーによるチルド水供給設備に関する研究, 日本冷凍空調学会論文集, 30(3), 319(2013).
- 57) 三戸大介, 万尾達徳, 谷野正幸, 本郷大, 若佐和夫, 松本浩二: 乳製品加工工場における氷スラリーによるチルド水供給設備, 日本冷凍空調学会論文集, 30(3), 331(2013).

- 58) 過冷却完全解除型 シャーベットアイス製氷機 SIS-HF®, 高砂熱学工業 HP, <https://www.tte-net.com/solution/sis-hf.html>.
- 59) 潜熱蓄熱・化学蓄熱・潜熱輸送の最前線: 鈴木洋, シーエムシー出版, 2016年11月18日.
- 60) 川上理亮, 増田正夫, 前田哲彦, 丹下学, 中納暁洋, 高橋惇, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利: 建築設備用の統合型水素利用システムの開発 第1報-水素吸蔵合金タンクの最適設計, 空気調和・衛生工学会論文集, 165, 19-27(2010).
- 61) 川上理亮, 増田正夫, 前田哲彦, 丹下学, 中納暁洋, 高橋惇, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利: 建築設備用の統合型水素利用システムの開発 第2報-水素吸蔵合金タンク群の運転制御法, 空気調和・衛生工学会論文集, 166, 27-34(2011).
- 62) 川上理亮, 増田正夫, 前田哲彦, 丹下学, 中納暁洋, 高橋惇, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利: 建築設備用の統合型水素利用システムの開発 第3報-水素吸蔵合金タンク群の水素放出反応熱の有効利用, 空気調和・衛生工学会論文集, 168, 1-9(2011).
- 63) 鎌田美志, 川上理亮, 大山孝政, 松田聡, 丸毛謙次, 山内一正, 宮原英隆, 鈴木正哉, 松永克也, 谷野正幸: ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発, 第1報—小型装置の実験結果と吸着材蓄熱槽の計算モデル, 空気調和・衛生工学会論文集, 45(281), 9-17(2020).
- 64) 宮原英隆, 鈴木正哉, 松田聡, 森本和也, 万福和子, 川上理亮, 名和博之, 山内一正, 谷野正幸: ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発, 第2報—低温再生型蓄熱材における水蒸気吸着時の発熱量について, 空気調和・衛生工学会論文集, 45(285), 1-8(2020).
- 65) 川上理亮, 鈴木美穂, 鎌田美志, 山内一正, 名和博之, 松田聡, 鈴木正哉, 宮原英隆, 佐藤敦史, 谷野正幸: ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発, 第3報—吸着材蓄熱槽の実際の工場での性能評価, 空気調和・衛生工学会論文集, 46(290), 39-46(2021).
- 66) 川上理亮, 鎌田美志, 宮原英隆, 平井恭正, 名和博之, 松田聡, 鈴木正哉, 山内一正, 佐藤敦史, 谷野正幸: ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発, 第4報—一定置型蓄熱システムの実証試験, 空気調和・衛生工学会論文集, 46(297), 31-38(2021).
- 67) 鎌田美志, 川上理亮, 山内一正, 井守正隆, 名和博之, 松田聡, 鈴木正哉, 宮原英隆, 佐藤敦史, 谷野正幸: ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発, 第5報—オフライン熱輸送型システムの実証試験, 空気調和・衛生工学会論文集, 47(301), 9-16(2022).
- 68) 鎌田美志, 川上理亮, 山内一正, 井守正隆, 名和博之, 松田聡, 鈴木正哉, 宮原英隆, 佐藤敦史, 谷野正幸: ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発, 第6報—塗装工程での除湿利用の実証試験, 空気調和・衛生工学会論文集, 47(308), 11-18(2022). 高砂熱学工業 70年の歩み (社史), 高砂熱学工業 (株) 編, (1996).
- 69) 高砂熱学工業 HP 高砂熱学グループ長期ビジョン: https://www.tte-net.com/ir/plan/pdf/long_term_plan_2023.pdf

ABSTRACT

Takasago Thermal Engineering is a company that celebrated its 100th anniversary in 2023. Since our founding in 1923, we have designed and constructed air conditioning equipment and system for many facilities. To meet the needs of customers and society, we have continued to develop technology and provide new products and customer value. This report introduces the transition in our development system and the progress of development in the main technology fields, as well as makes recommendations regarding the direction and outlook of technology development for the future.