

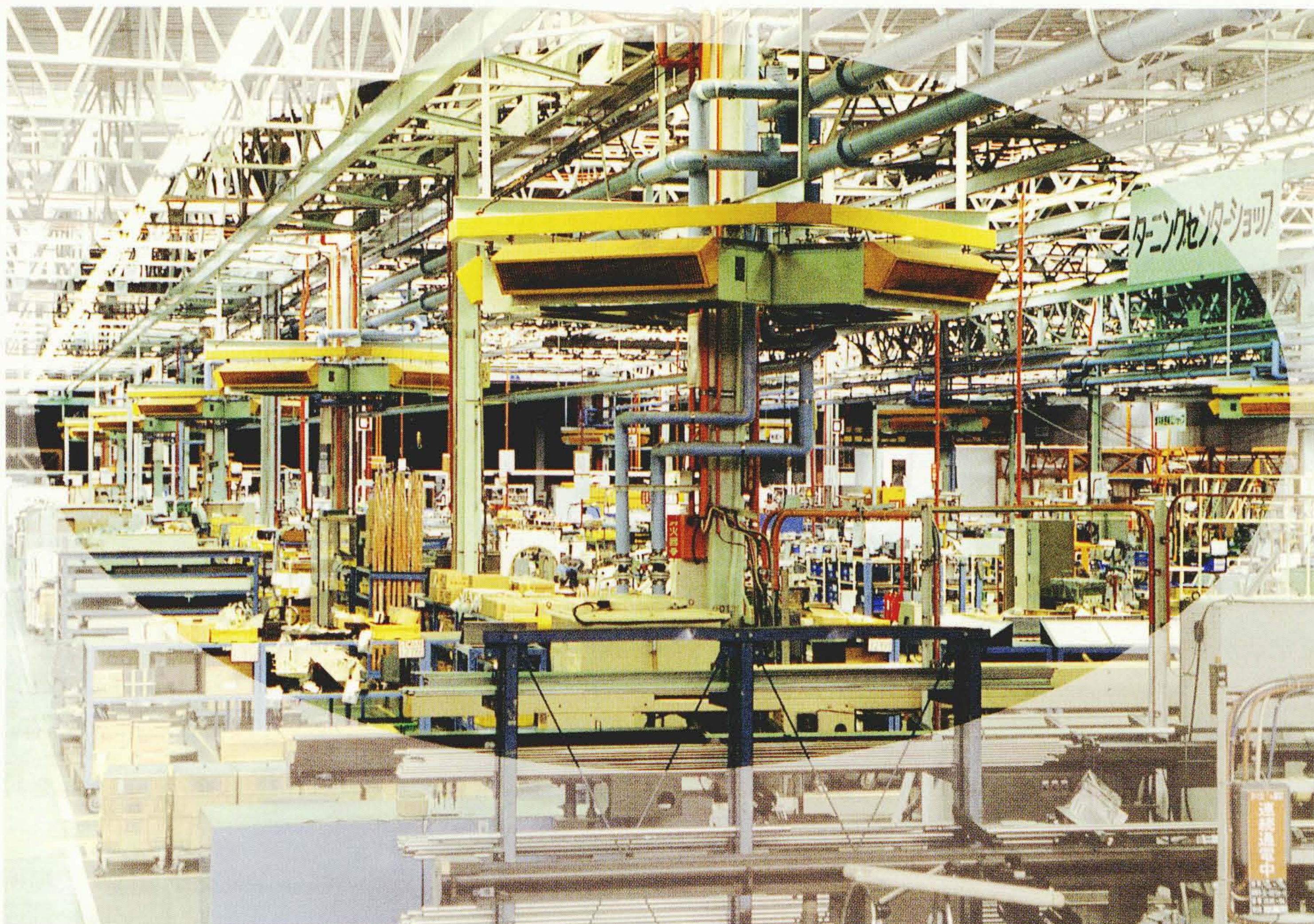
工場の作業環境に対応する高効率空調システム

High Efficiency Air Conditioning System Considering the Working Space and Conditions of Factories

梶 高明* Takaaki Kaji

真木愛一郎** Aiichirô Maki

犬井 誠 治* Seiji Inui



株式会社日立メディコ柏工場加工組立工場納め作業環境空調の全景 部分空調システムによる床上高さ2.0 m以下の作業域空間を対象としたものである(空調機は日立製作所製のファンコイルユニットを使用)。

FA化, ロボットの導入などにより, 生産現場での労働条件は改善が図られてきたが, 作業員を対象とした環境改善は空調のニーズの面で急速に高まっている。

この作業環境の空調を効率よく行うためには, 工場内に設置している設備機械の状況, 作業員の作業状況などの環境条件を熟知するとともに, 必要最小限のエネルギーで空調するシステムを採用することが必要となる。日立製作所が取り組んできた高効率

空調の具体策には, (1) 高温環境には高顕熱冷却空調, (2) 高湿度環境には除湿空調, (3) 大空間に対しては空調対象空間の縮小, (4) 外気温度以上になる排気が多い所には全外気冷房空調, などがある。

作業環境の空調システムは, 全体空調, 部分空調および局所空調に大別されるが, 個別の工場環境条件に適合した空調システムを選択して, 空調動力の節減による高効率空調を目指すことが肝要である。

* 日立冷熱株式会社 施設本部 ** 日立プラント建設株式会社 空調プラント事業本部

1 はじめに

工場空調は、一般に製品の品質管理を対象とした産業空調と、作業員の環境改善を目的とした作業環境空調に大別される。

産業空調は、製品の製造プロセスに合わせて計画し、製品の品質、生産性の向上を主目的として、温度、湿度、空気清浄度などの空調条件が定められる。この空調条件は多岐にわたり、広範囲で精度が高いものが要求されるのが一般的である。例をあげれば、古くは紡績工場、精密機械工場であり、新しくは食品加工工場、半導体製造工場など、付加価値の高い製造工場が中心となって普及してきた。

一方、作業環境空調は、工場内で働く作業員の環境改善が対象であるが、改善による経済性の量的把握が困難なこともあって、産業空調に比べて普及が遅れていた。

しかし最近では、作業効率向上による生産性を向上させたり、作業員の発汗による製造汚染を減少させるためにその効果が評価されるようになって、冷房を主とした作業環境空調が導入されている。特に冷房が困難とされていた工場では、簡易形のスポットエアコンの設置が大幅に増えている(図1参照)。

ここでは後者の作業環境冷房空調について述べる。

2 工場作業環境空調の特徴

一般ビルの空調と工場の空調の大きな違いは、工場がその種類と作業環境によって空調負荷の差異が大きいことにある。

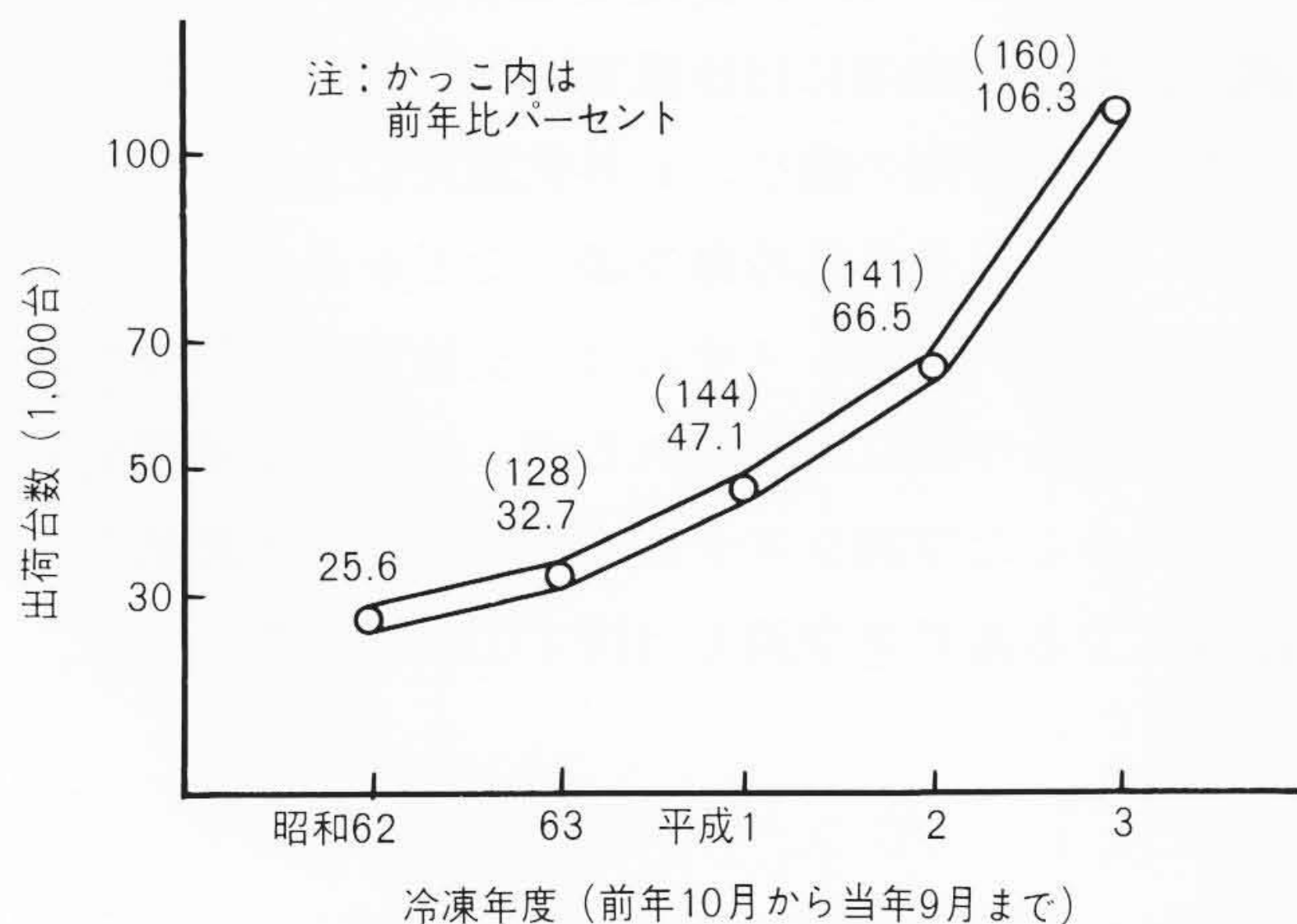


図1 スポットエアコンの出荷台数の推移 日本冷凍空調工業会調査によるデータを示す。

工場環境の主な特徴は次のとおりである。

- (1) 天井が高く、作業場が大空間である。建物はすきま風が入りやすい簡易構造のものが多い。
- (2) クレーンやホイス設備用の空間はあるが、空調用配管、ダクトを通すスペースの制約が大きい。
- (3) 機械加工、溶接加工で発生するオイルミスト、煙、じんあいなどの排出および機器発熱除去のため給排気量が多い。
- (4) 作業内容によって作業区域別の床面積当たりの発熱量の差異が大きい。
- (5) FA化によって作業員の床面積当たりの人員密度が小さくなり、作業行動範囲も広がっている。
- (6) 加熱炉や溶解炉からの放射熱の影響が大きい。
- (7) 大形機械加工・組立工場では、材料、部品および製品の搬送のため、出入口扉が開放されて外気の侵入が多い。

3 空調システムの選択要素

工場作業環境空調システムを空調対象空間によって分類すると、全体空調、部分空調および局所空調の三つのシステムに大別される(図2参照)。

- (1) 全体空調システムは、室全体の空間を対象とした空調方式である。
- (2) 部分空調システムは、作業域の特定空間を対象とした空調方式である。
- (3) 局所空調システムは、作業員または作業場所の狭い空間を対象として、冷風(または温風)を吹き付けて作業員の体感を改善するスポット空調方式である。

上述した空調システムの選択にあたっては、工場の種類、作業環境、建物構造などの諸条件に影響されるところが大である。各空調システムの主な選択要素は次のとおりである。なお、小カッコ内の数値は参考値を示す。

(1) 全体空調システム

品質管理、作業環境維持の両面に対応する場合に適用される。

- (a) 天井の高さが低い(3~3.5 m以下)。
- (b) 室内の発熱量が少ない(0.11 kW/m²以下)。
- (c) 生産設備の熱排気や集じん排気の給排気量が少ない(10 m³/m²・h以下)。
- (d) 室の密閉性が高い。
- (e) 作業員の密度が大きい(0.1人/m²以上)。
- (f) 作業員の移動範囲が大きい。

(2) 部分空調システム

主に作業員の居住空間(床上2.0 m以下)を対象とした

空調に適用される。温度の高い(軽い)空気は上昇し、温度の低い(重い)空気は下降する性質を利用した温度成層空調方式であり、屋根や天井の高い部分からの冷房負荷を軽減できるという特徴がある。ただし、工場内の気流の混合が大きい場合は温度成層にはならない。

- (a) 屋根や天井が高い(4~4.5 m以上)。
- (b) 室内の発熱量が比較的多い(0.17 kW/m²以下)。
- (c) 生産設備の給排気量が比較的少ない(20 m³/m²・h以下)。給排気量が多い場合、単独の給排気設備が必要である。
- (d) 建物には外気の直接侵入の開口がない。
- (e) 作業員の密度が比較的大きい(0.05人/m²以上)。
- (f) 作業員の移動範囲が大きい。
- (g) クレーンによる空間制約のため、ダクト方式でのスポット空調ができない。

(3) 局所空調システム

発熱機器が多く、高温の熱環境の厳しい工場に適用される。

- (a) 屋根や天井が高い(4~4.5 m以上)

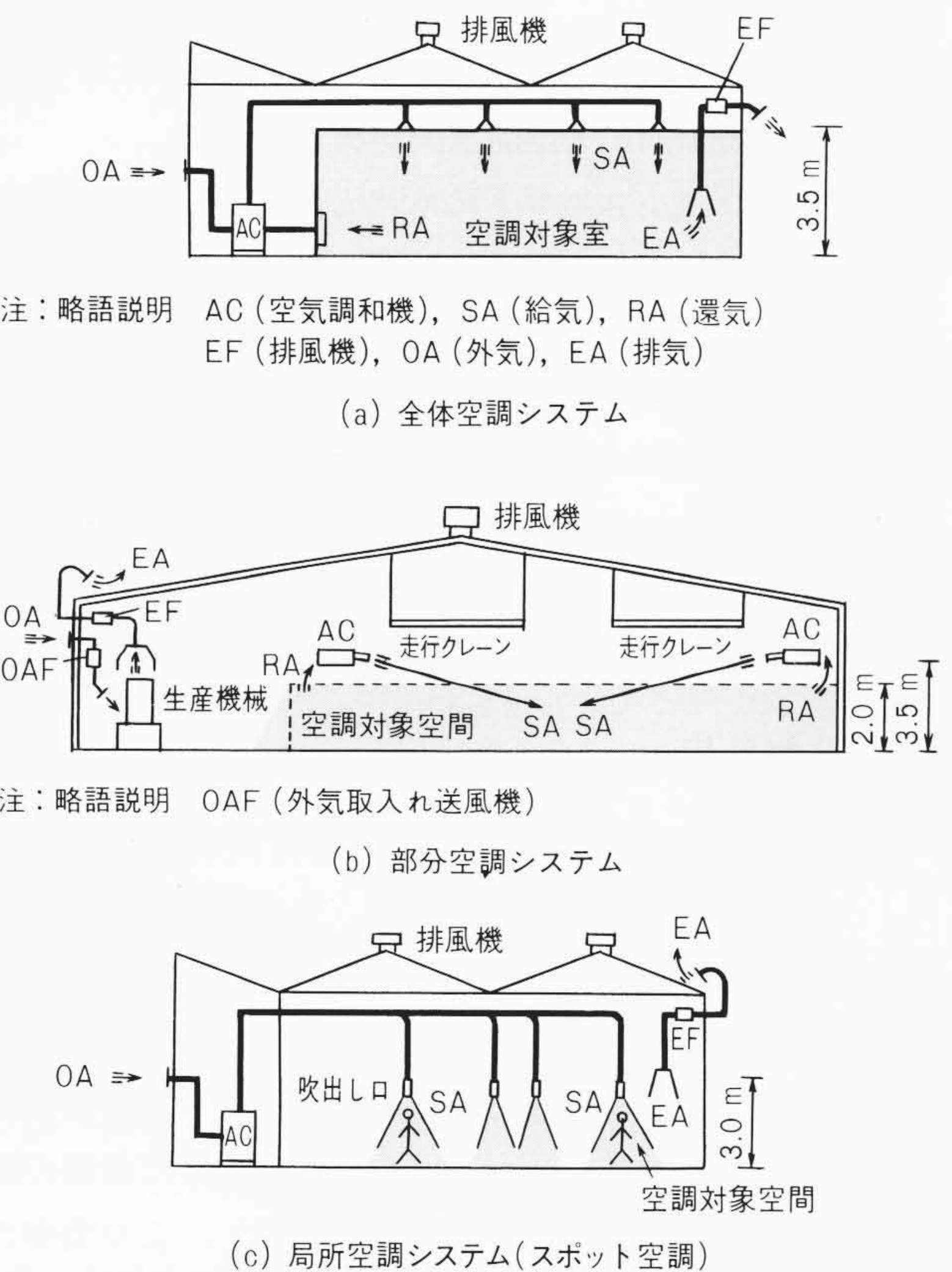


図2 工場作業環境空調システムの分類 工場の作業環境空調方式を空調対象空間によって大別した。

- (b) 室内の発熱量が非常に多い(0.22 kW/m²以上)。
- (c) 高温機器からの放射熱による放射が多い(断熱遮へい板の設置が必要)。
- (d) 生産機械の給排気量が多く、単独の系統換気が困難である。
- (e) 室構造が開放状態にあり、外気の侵入が多い。
- (f) 作業員の密度が小さい(0.01人/m²以下)。
- (g) 作業員の作業場所が狭い範囲に限定されている。

以上、空調システムの選択にあたって代表的な要素を示したが、効率の良い空調システムを適用するには、個別案件の計画時に省エネルギー、省メンテナンス化を考慮して、トータル設備としての高効率化を図ることが重要である。

4 作業環境における空調システムの納入事例

(1) 納入事例(その1)

大空間工場空調システムの納入事例を表1に示す。A工場は1992年に完成した最新鋭の機械組立工場であり、比較的じんあいの少ない作業環境が良好な工場で、今後の大規模工場空調の新しいモデルとなるものである。この空調システムは、空気調和機とダクトで構成される単一ダクト方式を採用している。1台の空気調和機の送風能力は200,000 m³/hである。この大形汎(はん)用送風機を使用して、メンテナンス機器、機械室をできるだけ少

表1 大空間工場空調システムの概要 納入事例(その1), (その2)の空調設備の仕様概要を示す。

項目	A工場 (機械組立工場)	株式会社日立メディコ 柏工場 (機械加工組立工場)
床面積	35,000 m ²	6,400 m ²
天井高さ	10 m	4.5~7.0 m
吹出口高さ	床上4 m	床上3.5 m
設計条件	夏季 26~30℃ DB 冬季 18~20℃ DB	夏季 26~30℃ DB
空調風量	600,000 m ³ /h	188,000 m ³ /h
外気量	200,000 m ³ /h 600,000 m ³ /h	—
作業人員	200名	100名
単位負荷	夏季 0.07~0.09 kW/m ² 冬季 0.05~0.06 kW/m ²	夏季 0.14 kW/m ²

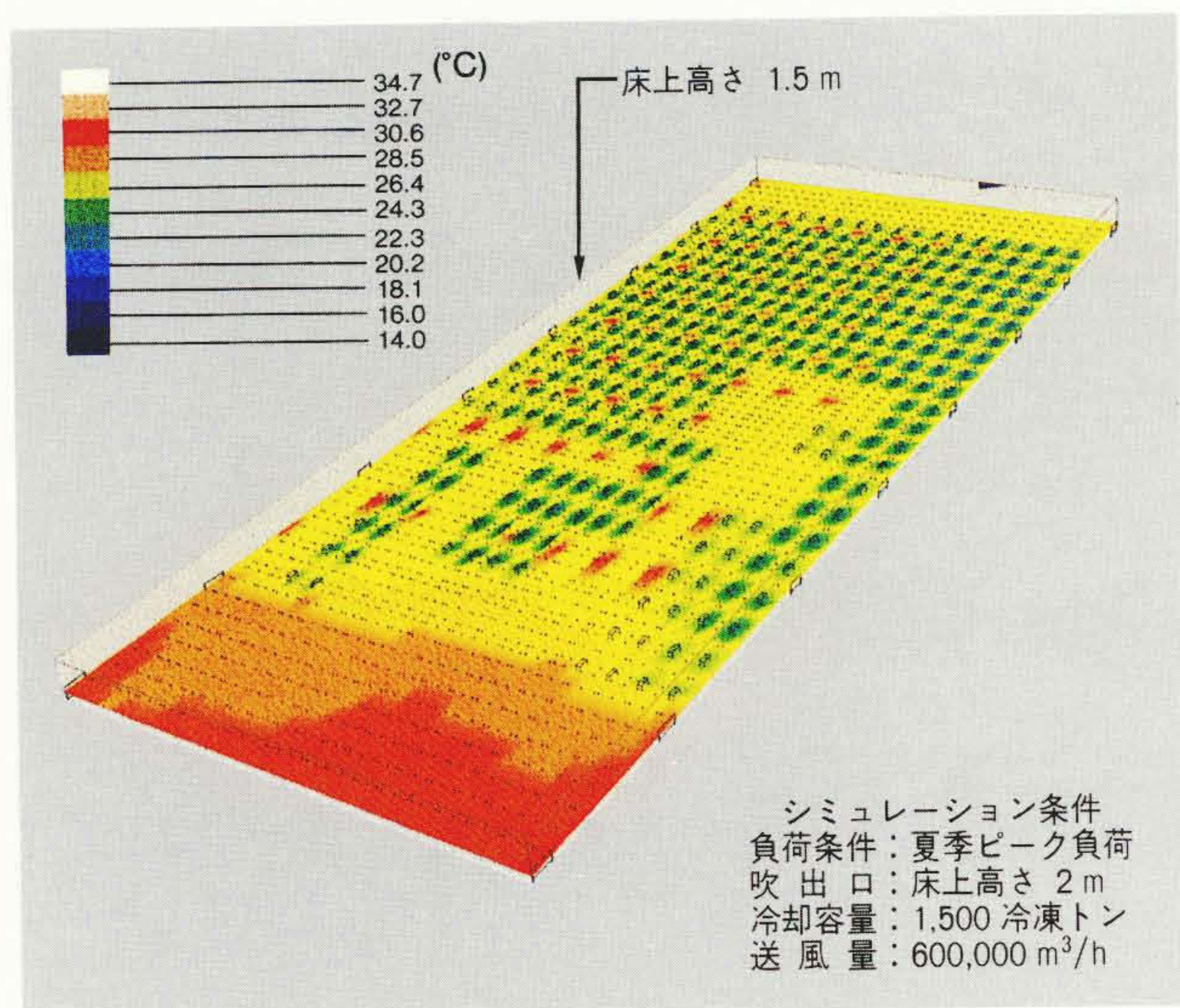


図3 熱気流シミュレーション計算の結果 工場平面床上高さ1.5 mの温度分布をシミュレーションしたものである。

なくするように、大きな空調区画分けで設計している。作業人員の密度が、 $0.01 \sim 0.005$ 人/ m^2 と小さく、かつ偏在しているためフロア全面を事務所並みに均一温度で設計すると大きなむだとなり、省エネルギーに反する。そこで、常駐作業域だけに適切な温度と気流を与えるとともに、非常駐作業域も外界と差異化した最適空調空間を作るため、図3に示す熱気流シミュレーションを支援ツールとして熱負荷計算を行った。夏季の単位空調負荷が $0.07 \sim 0.09$ kW/ m^2 なので、一般事務所に比較して30%減の負荷で全体空調を実現している。

この空調システムの主な特徴について次に述べる。

- (a) 常駐作業域を夏季で 26°C 、冬季で 20°C 、非常駐作業域を夏季で 30°C 、冬季で 18°C とし、夏季空調では成層現象も加味して、一般空調よりも30%減の空調負荷を実現した。
- (b) 4月～5月、10月～11月の中間季に外気を導入して、外気冷房可能なシステムとした。
- (c) 室内温度制御には、空調送風機のインバータによる可変風量制御と冷温水二方弁制御を取り入れて搬送省エネルギーシステムとした。
- (d) 中央監視システムであるCRTオペレーションによる発停、記録、デマンド制御が可能な設備とした。

(2) 納入事例(その2)

株式会社日立メディコ柏工場の機械加工・組立工場は1967年に建設された。屋根構造は折板となっており、夏季の日射熱による室内作業環境は空調システム施工前で

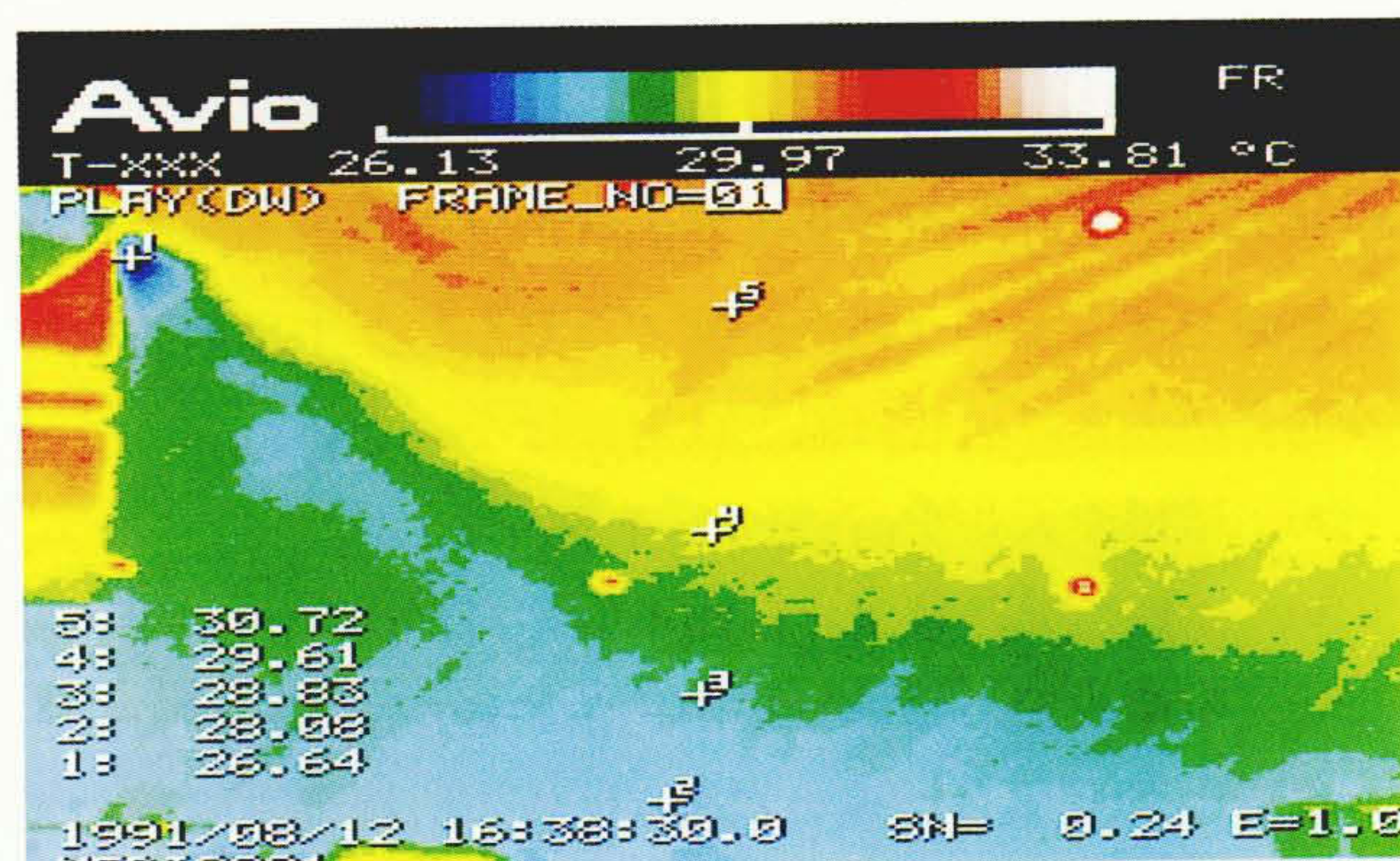


図4 株式会社日立メディコ柏工場空調設備の稼動状況(+3の点床上高さ1.5 m) 赤外線熱画像装置を使って空調の室断面の気流温度分布を測定したものである。

は約 40°C まで上昇して、激しい発汗に悩まされた作業員に対する環境の整備が重要な課題となっていた。

そこで、休日出勤や時間外作業時の個別空調を可能とし、成層空調を形成させ、上部走行クレーン設備の運転障害にならない方法で発汗防止による作業効率向上を目的とした空調システムを計画し、1988年6月に完成した。この空調システムの概要を先の表1に示す。また、この空調システムの主な特徴について次に述べる。

- (1) 室内設置機器は、天つり形ファンコイルユニットと冷水配管だけなので、プレハブ施工を可能とした。既設工場では、短工期に大空間空調が施工できた。
- (2) ファンコイルユニットの吹出し風量が $46 \text{ m}^3/\text{min}$ なので、1台で 100 m^2 の吹出し風量がカバーできる。
- (3) ファンコイルユニットの運転台数を制御することにより、個別の空調、全域の空調が簡単に切り替えられる。

夏季の成層空調実現状況を図4に示す。同図で、左上部から吹き出された冷気が、約 45° の降下角で床面に向かって流れ、床上2 m以内を冷気がまんべんなく流れているようすがわかる(設置状況は59ページの写真を参照)。

5 おわりに

工場の作業環境空調システムと実施例について述べた。大空間である工場内の気流は、生産機械の換気設備や出入口扉の開閉による室内圧力の変動、室内空間の温度差によって自然対流が生じ、非常に複雑なものとなっている。理論解析は困難であるが、コンピュータによる三次元気流解析シミュレーションや、納入した設備の温度分布データに基づいて空調効果を評価し、より効率の高い空調システムの開発を推進して、ユーザーのニーズにこたえていきたい。