技術情報

工場の湿度管理と空調コスト削減

＜最適な加湿方式による省エネと作業環境の改善＞

㈱いけうち　江崎　寛通

■はじめに

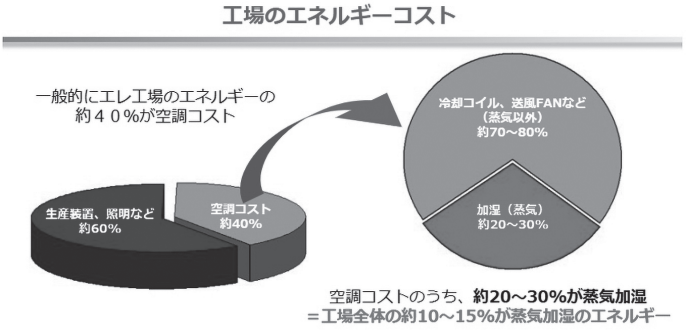
近年では、生産性向上や品質向上のために、生産現場の環境づくりは当たり前になっている。生産現場の環境とは温度・湿度・気流・清浄度を人と物に最適なものにすることであり、空気調和そのものとも言える。さらに、地球環境に配慮し省エネルギーも実現していくことも重要になっている。ここでは当社／空調事業部が約40年もの間、生産現場での湿度環境改善を提案してきたと同時に省エネルギーにも貢献してきたことを紹介したいと思う（写真１、写真２）。

■工場運営におけるエネルギー

工場を運営するには様々なコストが必要になってくる。材料の仕入れ、人件費、地代、生産機械など多くの項目がある中で工場の空調にかかるコストも全体の約35%と言われる。空調にかかるコストとしては送風ファン、冷却コイル、加熱コイルなど様々あるが、加湿にかかるコストはその中で30%を占めると言われている（第１図）。このことから工場全体のランニングコストに対して、加湿に要するエネルギーは約10%にもなると言える。蒸気加湿の場合、加湿に必要なエネルギーは電気、重油、ガスであることが多く、ガソリン価格に例えると明白な通り世界情勢に影響を受け値上がりしているものが多い。この値上げは製品原価にも直結するために頭を悩まされている企業が多い。さらにこれらはCO_2排出にも直結するため環境へ配慮される企業が増えている現在では見直しを検討されるケースが増えてきている（第１表）。近年

写真１　２流体加湿システム AirAKI

写真２　１流体加湿システム AirULM



第１図　工場のエネルギー

第１表　エネルギー単価とCO_2排出係数

種類	A重油	LPG	LNG	電気
CO_2排出係数［tCO_2/t］	2.75	2.99	2.79	0.438
単位	tCO_2/t	tCO_2/t	tCO_2/t	$kgCO_2/kWh$

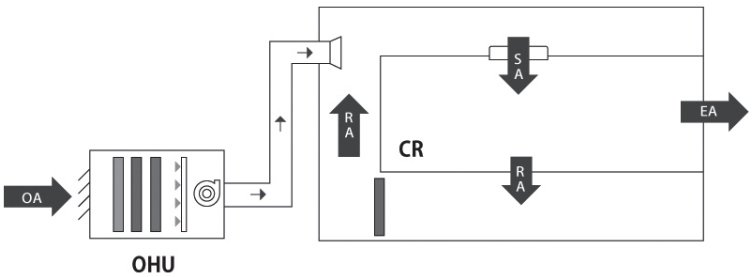
の物資の値上がりに対して、製造原価の見直しを余儀なくされている企業が多い中で、工場運営に必要なコストの中でも加湿方式を見直すことが注目されている。

■近年の工場の空調

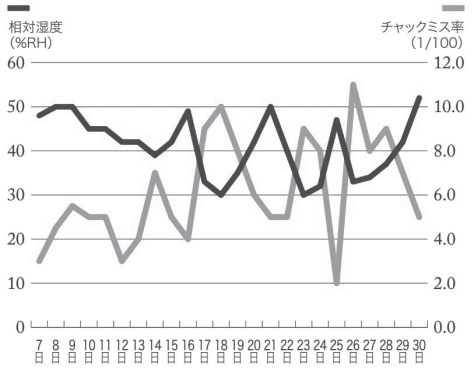
生産機械の高速化や部品の小型化（薄型化）に伴い、湿度低下による静電気が問題になることが多くなるとともに品質への要求は高まる一方であるため、温湿度環境だけでなく工場内のクリーン化も求められている。製品の生産性と品質を保つためには工場の環境を安定させることが必要であり、工場の環境を安定させるためには空気調和が不可欠なものになっている。一般的に、実際の工場では換気が行われており、工場容積の数倍の空気が外部から入ってくる（OA）。空気を安定させるために工場容積の数十倍もの工場内空気を循環させている（RA）。このOAとRAを混合して適切な空気として工場内に供給する（SA）。日本の場合はOAが四季や天気によって大きく変化するため、空調機や外調機で安定させる必要がある（第２図）。冬場には温度0℃、相対湿度50%の乾燥した空気を加温･加湿することが必要になってくるが、工場内の生産機械の密集化により熱負荷（顕熱）が大きく、RAに関しては冷却が必要なケースが増えてきている。夏季は冷房、冬季は暖房という前提で空調を検討され、暖房環境での加湿ということで蒸気加湿を採用されていることが多いが、実際の空調では、冷房により冷却と除湿を行い、蒸気加湿により加温と加湿を行うという相反することが行われていることも多い。室内の温度を下げたいから冷房を強化し、それによって湿度不足になり蒸気加湿も強化するというケースも度々みられる。冬季の外調機での加湿に限って言えば加温＋加湿なので蒸気加湿が適しているが、RA系統での加湿が可能であればより効果的な加湿方式を検討することができる。

■湿度が必要な理由

作業環境において湿度管理の必要性は増している。これは製品品質の安定や生産性向上を目的としていることが多いが、湿度が低いと静電気が発生し部品の静電破壊が起こるだけでなく、基板実装工程では吸着不良なども大きな問題になっている（第３図）。また、工場内の浮遊ゴミが問題になることも多く、湿度を高めることで浮遊ゴミ自体を減少させることを目的とするケースも増えている。ただし、製品品質や生産性においては湿度が高いに越したことは無いが、生産機械や建物から考えると湿度が高すぎることは望ましくはないことが多い。湿度が高いということは温度差による結露の危険性は



第２図　クリーンルームの空調



第３図　ミスチャック

高まるため、最適な湿度環境を折り合い点として設定湿度とすることが重要になってくるし、湿度管理をするということは、外部から低温のまま部品を持ち込まないなどの運用も必要になってくる。この湿度設定の決定は製品や部品の性質や生産スピードによっても変わってくるが22℃50%RH程度が目安だと考える。また、湿度環境の安定はオペレーターの健康管理にも役立つため、湿度管理はこのような面でも生産性向上に有効であると考える。当社空調事業部ではエレクトロニクス業界をはじめ、各種印刷、プラスチック、繊維など様々な企業で湿度環境改善を実現してきた。その中でも納入件数No.1であるエレクトロニクスの工場では、“濡れない霧”ドライフォグを用いたAirAKI（エアラキ）産業空調システムを中心に導入件数を伸ばしている。

■水加湿の有効性

夏季の打ち水をイメージしてもらえるとわかりやすいと思うが、水加湿は気化潜熱により、冷却と加湿を同時に行うことができる。単なる加湿エネルギー低下だけでなく、工場内顕熱の冷房負荷低減にも貢献できるため、工場内熱負荷の高い工場ではより有効な加湿方式と言える。特に半導体製造工場や基板実装工場での空調機系統は通年冷房運転という話を聞く機会が多いため、工場の加湿に何が使われているかを確認いただくことを推奨する。さらに各企業が取り組まれているCO_2発生量の低減に関しても水加湿は燃料を燃やさないため優位性が高く、実際膨大なCO_2削減に貢献できる（第２表）。加湿エネルギーの削減、CO_2削減、（工場内熱負荷が高ければ）冷房負荷低減、の三つの大きな効果が見込める。ただし、工場内熱負荷を超える気化潜熱になってしまっては、暖房負荷を大きくしてしまうため（冷却しすぎになってしまうため）、クリーンルームなどで冷房専用空調の場合などは特に工場内熱負荷を超えない上限まで水加湿を採用し、不足分を蒸気加湿で補う、といったことも必要となる場合があることを知っておいていただきたい。前述した通り、加湿をする場所を検討し、その場所に適した加湿方式を選定することが必要になってくる。我々はお客様の工場運営の役に立つことが重要と考えるため、加湿するエリアが外調機しか確保できない場合には無理に水加湿を提案するの

第２表　蒸気との比較

	他方式					いけうち	
方式	電極式 蒸気加湿	電熱式 蒸気加湿	ボイラー蒸気 （A重油）	ボイラー蒸気 （LPガス）	ボイラー蒸気 （LNGガス）	１流体加湿	２流体加湿
しくみ	電極から電気を流し蒸発	電熱ヒーターにより蒸発	重油を燃焼させ蒸発	ガスを燃焼させ蒸発	ガスを燃焼させ蒸発	水	高圧エアーと水
年間ランニングコスト ［¥/年］	¥7,201,200	¥7,219,600	¥6,306,700	¥2,761,200	¥2,761,200	¥740,800	¥1,120,700
CO_2排出量 ［kg-CO_2/年］	119,760	119,760	100,230	71,330	66,560	9,580	15,980

ではなく、当社製品ではないが基本的には蒸気加湿を推奨している。

■水加湿の制御性

現在、水加湿には一流体加湿と二流体加湿がありそれぞれの特徴を踏まえて適材適所で採用することが必要になってくる（第３表）。簡単に言うと、一流体加湿は二流体加湿に比べ粒子が大きく気化距離が多く必要であるが、エネルギーコストは50%以下で抑えられる。気化距離（加湿器前方のスペース）が多く確保できるエリアを見つけ一流体加湿を検討し、確保できない場合には二流体加湿を検討することが推奨される。空調機内噴霧の場合には、加湿効率を両加湿方式にて算出し、コンプレッサーエアー量に対して加湿効率による純水必要量を加味して加湿方式を決定していくことが好ましい。制御性に関してはOAとRAの比率によっても大きく左右される。設定湿度に対して±5%での制御が必要でも、OA：RA＝1：9のようにSAのほとんどがRAである場合には温湿度の安定はそこまで難しくなく、加湿に関しても段数制御程度で対応が可能である。逆にOA：RA＝3：7など、RAに対してOAの割合が多い場合には、リニアに噴霧量を調整することが求められる。ON-OFF制御→段数制御→リニア制御と精度が高くなるとともにイニシャルコストもかなり増加するので、工場の空調に適した制御を選択する必要も出てくる。SAに対するOA比率が15%未満であればON-OFF、15～30%であれば段数制御、30%以上であればリニア制御といったイメージで制御を検討しても良いと考える。制御はイニシャルコストに大きく影響を及ぼすため、上記のように加湿方式だけでなく、現場に最適な制御を構築することが重要だと考えている。

第３表　加湿方式比較

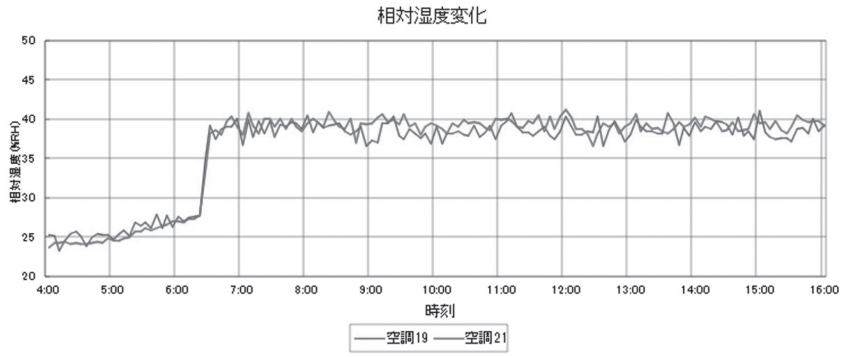
	一流体加湿	二流体加湿
特徴	水圧のみでノズルから霧を噴霧	水とコンプレッサーエアにより霧を噴霧
水圧力	6MPa	0.1MPa
エア圧	−	0.3～0.5MPa
粒子径	15～25μm	7.5μm
ユーティリティ	高圧ポンプ	コンプレッサー

■制御性と省エネルギー

工場の空調状況に合わせて制御を使い分ける必要があるのかと言うと、省エネに影響があるためであり、過剰な制御は推奨しない。リニア制御とは、湿度センサーにて湿度状況を見て加湿器の噴霧量をリニアに変化させるというものであるが、噴霧量を変えるというのはノズルへ送る水量を減らし、二流体加湿であれば圧搾空気量も減らすことになる。水と圧搾空気のバランスはノズルから発生させる霧の粒子径にも直結するため簡単に同じ比率で減少させることはできない。粒子径をキープしようとすると、水の減少率に対して圧搾空気の減少率は少なくなる。当社では空気と水の体積比を気水比として重要視している。簡単に言うと、水をできるだけ減らし、圧搾空気をできるだけ増やせば、粒子の小さな霧を発生させることは可能であるが、省エネという観点からは好ましいとはいえない。加湿器を設置する位置や風速、気化距離などを考慮して詳細な設定をしないと無駄なエネルギーを消費してしまう可能性があるため、当社では現場調査をして最適な加湿方式や制御方式を提案するようにしている。

■設置事例

某半導体工場（約1,500m^3）では蒸気加湿からの切り替えで、SAに対するOAの比率が14%であり加湿器設置スペース（噴霧ノズル前方の気化距離）が十分に確保できたために、一流体加湿のON-OFF制御を提案し採用された。結果として加湿エネルギーが70%削減でき、CO_2発生量も80%削減、冷房負荷も40kW低減、湿度幅も設定湿度±3%で制御でき、費用対効果回収年数３年で稼働している（第４図）。



第４図　某半導体工場湿度データ

SA：60,000m^3/hr（40回換気）
OA：8,200m^3/hr（OA比：13.7%）
RA：51,800m^3/hr
必要加湿量：65L/hr

このように、本来の目的である湿度環境の安定と省エネを実現し、イニシャルコストを約３年で回収することはお客様の工場運営に大きく影響を及ぼすため、現場に最適な加湿方式や制御を提案していくことの重要性を強く感じている。

■水加湿のまとめ

工場運営に欠かせない湿度管理の占めるコストは工場運営全体の10%にも及ぶと言われている中で、生産現場では作業環境の安定が求められ、同時に企業として環境への配慮が重要視されてきている。湿度環境に関しては依然として蒸気加湿が採用されている工場が多く、生産設備からの熱負荷が多い生産現場ではより効率的な水加湿が有効である。水加湿には、加湿に必要なエネルギーが少なく、気化潜熱により冷房負荷低減に貢献、CO_2発生量が少ないという特徴がある。水加湿でも一流体加湿と二流体加湿があり一流体加湿の方がより省エネ性が高いが、設置スペースなどの制限が多く付く。作業環境の制御性も工場の空調における空気バランス（SAに対するOA比率）によって使い分けることで、できるだけ少ないイニシャルコストで精密な湿度管理が可能である。当社空調事業部では、工場での現場診断から最適なシステムを提案、ランニングコストなどの改善シミュレーション、設置後の湿度測定まで一貫して実施することが可能である。これからもお客様と一緒に作業環境改善、省エネを実現していきたいと考えている。

■おわりに：霧のいけうちの活動

当社は今期71期を迎える霧を創る会社である。創業以来約50,000種類を超えるスプレーノズルを開発し、ユーザーに最適な霧を提供してきた。さまざまな霧を活用することで『洗う』『冷やす』『潤す』といった産業界に必要不可欠な事業を行っており、また近年では一般消費者に向けて『魅せる』事業を行うなど、霧が持つ機能を活かし幅広く社会に貢献していっている。

以下に事業の一例を挙げる。

• CO_2排出量削減・水消費量削減

前述した蒸気式加湿から水噴霧式加湿への切り替えだけでなく、スプレーノズルを最適化することで製造工場で使用されるコンプレッサーエアーや洗浄用水を大きく削減することができる。また処理水の再利用などにもスプレーノズルは利用されており、環境保全のための取り組みに不可欠な役割を担っている。

• ミスト冷房

地球温暖化による高温化と夏の長期化に対して省エネルギーでの対策が求められる中、気化

熱を利用するミスト冷房は非常に効率よく温度を低下できる手法である。熱交換式冷房とは違って排熱がなく低コストな冷房として全国に導入されており、特に当社のミストは粗大粒子による濡れの課題をクリアしていることから、既存の冷房手法と組み合わせにも適している。

• 排ガス対策

廃棄物焼却施設などでは焼却時に有害なガスが発生し、これを無害化する処理工程でスプレーノズルが多用されている。長期稼働が前提となる施設のため長寿命でメンテナンスは極力不要、経年しても導入時と同じ噴霧を維持し続けることができるという堅牢強固な耐久性が要求されるが、当社は30年以上に渡り要求を上回る高品質の霧を提供し続けている。

• 電力問題へのアプローチ

東日本大震災が発生した際夏の電力供給がひっ迫し、この緩和解消が社会的課題となった。その際に、時間をかけて発電設備を新たに建造し発電量を増やすのではなく、夏の気温上昇に伴い低減していた発電量を霧で冷却することで回復させるという、新しいアプローチを実施。これは順次導入が進み、現在発電を行う際の基本的な設備として標準化されている。

• 食料問題への取り組み

世界的に水不足と食料不足が深刻化する中、節水と増産を両立させるため霧で栽培を行う噴霧水耕を開発。砂漠などの水資源の乏しい地域での作料生産を可能にし、また栽培物に機能性を付与するなど従来にはなかった新しい取り組みが開始されている。

• 雲海演出

景観演出の装置として人工の雲海を発生させることに成功。シビアな気象条件の下でしか発生しない雲海を、人工的に任意の場所に創造することができるようになり、従来は不可能だったエンターテイメントへの雲海利用を可能にした。

当社は今後もさまざまな霧を使い、社会に貢献していく。

【筆者紹介】
江崎　寛通
㈱いけうち　空調事業部　部長