

「第 119 回 技術懇談会講演記録」

1. 日時・場所 令和元年 5 月 30 日（木） 15:00-17:20
文京区立アカデミー茗台 学習室 B 参加人数 26 名

2. 講演テーマ及び講演記録

(1) 私と化学工学

講師 太田 哲 氏 SCE・Net 会員 元西部ガス㈱

概要

私は大学を卒業以後、西部ガスの 32 年間とエスジーケミカル（元三井コークス）の 11 年間の殆どの仕事が化学工学に関する内容であった。これまでの仕事内容を振り返りながら総括する。

1. 西部ガス時代

1) ガス付臭剤の液滴式による微量流量計の開発

液滴体積の計算式を次元解析法により求め、微量流量制御装置を開発

2) メタノール原料及び LPG 原料の都市ガス製造プラント開発

基本設計、詳細設計、試運転調整、自動化運転作成等の一連のプラントエンジニアを経験

3) LNG 基地の基本計画

LNG 基地の運転シミュレーターを製作し、設備基本計画と天然ガス転換時の小需要量における設備設計と運転方法の最適化に活用

2. エスジーケミカル時代

1) ロータリーキルン設備の図面・資料整備と設備の改造

PFD、P&ID、機器データシート等を更新し、計装設備全面更新、ボイラー増設、蒸気発電機設置を実施

2) ロータリーキルン方式による竹炭設備建設

伐採竹からの竹炭を製造する設備を受託し、ロータリーキルンを用いた竹炭製造プラントを開発

3) 技術計算ツールの整備と継承

これまで蓄積した技術資料、設計ツールをネットワークに共有化し、若手技術員に実践教育を実施

3. 仕事で感激したこと

1) ロータリーキルン設備の計装設備全面更新

運転員と計画段階から情報共有して工事を進めた。ハイリスクであったが、皆の協力の甲斐あって、ノントラブルで稼働できたこと

2) 竹炭設備ロータリーキルンの燃焼改善

燃焼不良で生産能力が低かった。燃焼室改造、燃焼空気吹込み改善、リフター改良等を継続し、1年間以上かけて順調に生産ができたときはお客様の理解に感謝

3) LNG基地のプロセス全系運転シミュレーターの継承

15年前に作成・教育したツールが、今でも現地技術者達によって運転支援ツールとして更に進化させ活用していることを知ったこと

4. おわりに

私の仕事は殆どが化学工学に深くかかわっていた。と言うより、私が自分流に化学工学的手法を用いて問題解決をしてきたのかもしれない。それらの積み重ねで、化学工学手法を自分の強みにすることができた。

今後も蓄積した経験を活かし、現場で使える実践的な技術として後輩たちに伝えていきたい。

(2) 気候変動とヒートアイランド現象に伴う都市の気温上昇、およびその対策

講師 井原智彦氏 東京大学大学院新領域創成科学研究科

環境システム学専攻 准教授

1. はじめに

東京の気温は、郊外ではそれほど上がっていないにも拘わらず、都心部では100年間で平均2.6℃上昇している。都心部が等温線で島状になることから、これをヒートアイランド現象と呼び、都市特有の温暖化現象となっている。2.6℃の内、地球温暖化に起因するのは1℃、ヒートアイランド現象で1.6℃と考えられる。この都市の気温上昇は様々な影響を及ぼす。統計的には、東京管内で1℃気温が上昇すると130万kW電力需要が増大する。ただ、家庭に関しては、年間では暖房需要が冷房需要に比し約10倍大きいことから、温暖化より低温化の影響が大きくなると推察される。また、健康面では熱中症で搬送される人が増加する傾向にあり、昨年度は9万人となっている。集中豪雨の回数もバラツキはあるが増えており、山岳部や23区西部の雨量が特に多い。

2. 都市の熱収支

地球温暖化の最大の原因は温室効果と言われている。ヒートアイランド現象の原因は環境省によると、人工排熱の増加、地表面被覆の人工化、都市形態の高密度化の3つである。少し古い資料であるが、東京都23区のエネルギー消費密度マ

ップによると、極端な差があり、都心部では $100\text{W}/\text{m}^2$ 超と大きく、これが熱（人工排熱）として大気に放出される。また、人工衛星データを元にした土地被覆（地表面被覆の人工化）判別解析結果によると、都心部はコンクリート街区となっている。緑地が減ると気化熱（蒸発潜熱）が減るので、日射が過度に地面とビル壁を熱し、その熱（対流顕熱）で大気が暑くなる。都市形態の高密度化は、局所的ではあるが、例えば汐留シオサイトでは高層ビル群によって海風が遮られ、熱が籠る状態になる。前二者がヒートアイランド現象の主な原因であり、熱収支を考えると、対流顕熱を減少させて蒸発潜熱を増大させる方策、人工排熱を減少させる方策が挙げられる。

3. 気温を下げる方策

3つの方策があり、日射の反射を増大させる方策は、高反射率塗料や遮熱舗装などの高反射率化材料の活用である。2つ目は、蒸発潜熱を増大させる方策で、緑化や蒸発利用技術がある。最後は人工排熱を減少させることで、空調方式の変更と省エネルギーがある。ただこれは寄与率が小さく、特に省エネルギーはかなり削減する必要があることが、地表の熱収支から分かる。

3-1. 高反射率化技術

一般的には白っぽい物質は高反射率であるため、明色度の高い材料を使う。ただ、可視光領域の放射率を高くする以外に、日射エネルギーの半分は目に見えない赤外光領域であるため、可視光領域の反射率は同じでも、赤外光領域の反射率が高い材料が有効であり、車の塗料にも使われている。見た目の色は変わらずに、高反射率化している例である。高反射率塗料は空調負荷の低減、遮熱舗装に有効である。

3-2. 緑化

植物は蒸発散し、吸収した日射熱を潜熱で放出することで、顕熱の放出が減り気温を下げる。また、建物内への貫流熱が減り、断熱効果もあり、冷房負荷を低減する。インテンシブ緑化とエクステンシブ緑化に分けられる。

3-3. 蒸発利用技術

打ち水もその一つである。人工的な方法として、雨水を保水性ブロック／アスファルトに保水し、蒸発潜熱は増えるが、その分対流顕熱を低減させる方法である。同様に、光触媒コーティングの超親水性により保水膜を形成させ、蒸発潜熱を増やす方法がある。

3-4. 空調方式の変更

通常のアエアコンは、冷房時には室内を冷やすために室内の熱を外気に放出するため気温を上げるが、地中熱ヒートポンプはこの熱を地中に放熱するため排熱源とならない。同時に地中の温度は年間を通じて変動がないことから、大気に代わ

る冷暖房のヒートシンクになり、省エネルギーとなる。また、室外機を屋上に設置、あるいは潜熱で排熱する水冷式は低温化に有効である。

4. 対策による地域気温の低減と地球温暖化の緩和

気温低減策を導入すると、夏季には冷房需要によるエネルギー消費が減少するが、冬季には暖房によるエネルギー消費が増大することになり、年間を通したエネルギー消費量削減効果を評価する必要がある。

4-1. 各種対策の気温低減効果および年間エネルギー消費量削減効果の同時評価

都市キャノピー気象・ビルエネルギー連成モデル（CM-BEM）を開発し、これを用いてシミュレーションを行っている。これは、気象モデルとビルエネルギーモデルが結合しているため、気温が高くなるとエアコンを使い、エアコンからの排熱が更に気温を上げる、と言った悪循環を考慮できるのが特徴である。評価する方法は、反射増大策として高反射率塗料、蒸発潜熱増大策として光触媒コーティング+散水、エアコンの方式として室外機の屋上設置、地中熱源ヒートポンプ、省エネルギー策としてエアコンの高効率化、高断熱化、機器の高効率化、自動車の省エネルギーを取り上げた。対象として平均的な事務所街区である千代田区九段北1丁目付近を選んだ。結果は、昼間における気温30℃超延べ時間数で見ると、対策なしだと554時間になるが、高反射率塗料、光触媒コーティング+散水の両対策は、60時間以上の延べ時間数削減になる。地中熱源ヒートポンプはそれに次ぎ、省エネルギーによる気温低減効果は非常に小さい。一方、年間のエネルギー消費削減効果では、光触媒や地中熱源ヒートポンプはわずかにエネルギー消費を削減するが、高反射率塗料は冷房負荷を減少させるが、暖房負荷が増えるので、通年では増エネルギーの可能性もある。また、これを東京において典型的な住宅街区（木造）である江戸川区江戸川6丁目付近でシミュレーションした。住宅街区では昼間より夜の気温の方が重要と考え、夜間における気温25℃以上延べ時間数で評価した。対策なしでは550時間に対して、光触媒コーティングの効果は大きく、高反射率塗料の効果は夜間のため限定的であり、省エネルギーによる気温低減効果はほぼないと言える。次に年間エネルギー消費削減効果であるが、住宅街区では暖房需要が大きな割合を占め、高反射率塗料は通年ではエネルギー消費を増加させ、高断熱化はエネルギー消費を半減する。住宅街区では、一般に気温を下げると増エネになる。

4-2. 各種対策の気温低減効果およびライフサイクルCO₂削減効果の評価

気温低減対策は、年間エネルギー消費の削減を通じてCO₂排出量を削減する一方、製造や維持管理を通じてCO₂を排出するため、トータルではCO₂排出量の削減につながらない可能性もある。そこで、積み上げ法によりライフサイクルCO₂を算出した。

評価の対象は、高反射率塗料（屋上・側壁の窓を除く全面積）、屋上緑化（灌

水装置付き芝・草花型、耐用年数10年、屋上の半分）・壁面緑化（灌水装置付きユニット型、耐用年数30年、側壁の窓を除く50%）、光触媒コーティング+散水（耐用年数10年、散水期間5～9月/8:00～18:00、側壁の窓を除く50%）である。評価対象の事務所街区は日本橋2,3丁目および日本橋兜町付近とした。

結果は、建物空調に伴うCO₂排出量に関しては、高反射率塗料（屋上）は冷房削減量が大きいですが、暖房増加量も大きいため、年間では差し引き変わらない。潜熱輸送対策は暖房に伴うCO₂排出増が小さく効果的である。製造・組み立て時のCO₂排出量では、屋上緑化は素材製造と電力が大きく、壁面緑化は素材製造が圧倒的に大きく、光触媒コーティングは、電力（ポンプ動力）によるCO₂排出が圧倒的に大きい。建物空調と製造・組み立て時のCO₂排出量を合計すると、屋上緑化と高反射率塗料（側壁）のみがライフサイクルCO₂排出減となった。光触媒コーティングと壁面緑化のように、運用や素材製造によるCO₂排出増が、空調削減によるCO₂排出減を上回る場合もある。

詳細に調べるために緑化方法を変えて同じことをやってみた。屋上緑化として芝によるインテンシブ緑化とセダムによるエクステンシブ緑化の2種類、同じ壁面緑化であるが、今までは製造時のCO₂排出量の多いステンレスワイヤーブラケット（ユニット型）を使ったが、製造時のCO₂排出が少ないと想定されるプラスチックネットを使った緑のカーテン方式（巻き付き登はん型）も評価した。また、今までは無断熱であったが、高断熱の条件も入れた。

結果は以下である。導入（製造・施工）時のCO₂排出量では、壁面緑化（ユニット型）が最大、壁面緑化（登はん）・高反射率塗料が最小、屋上緑化（セダム）は屋上緑化（芝）の約1/2であった。運用時のCO₂排出量では、水を使う方法、ポンプ動力の影響が生じる。空調エネルギーに伴う年間CO₂排出量は、冷房の割合が暖房に比し大きく、無断熱に比し高断熱は冷房需要がやや増加するが、暖房需要も入ると少ない。

以上をまとめると、事務所街区での空調エネルギー起源年間CO₂排出量を各対策で比較すると、高断熱条件では、対策による空調負荷への影響は小さくなり、屋上緑化（芝）は冷房だけでなく暖房も減る（土壌の断熱効果）。屋上緑化（セダム）は、冷房が増え（土壌の断熱効果）、暖房が減る（通年で増）。壁面緑化（ユニット型）・高反射率塗料は、冷房が減り、暖房が増える（通年で減）。壁面緑化（登はん）は、冷房が減り、暖房は変化なく、窓面が断熱されないため高断熱条件でも効果が大きい。次に気温の低下の効果を8月の14時で施工面積当たりの評価を行った。屋上緑化では、蒸発散量の違いから芝はセダムに比し低温化が大きく、壁面緑化は日射遮蔽率の違いから、ユニットは登はんに比し低温化が大きく、高反射率塗料は入射日射量の違いにより、屋上は側壁より低温化する。次にライフサイクルCO₂排出量を各対策で断熱の有無で整理した。断熱条件によらず減るのは、壁面緑

化（登はん）と高反射率塗料（屋上）であり、無断熱条件で減り高断熱条件で増えるのは、屋上緑化（芝）と高反射率塗料（側壁）である。また、断熱条件によらず増えるのは、屋上緑化（セダム）と壁面緑化（ユニット）である。最後にまとめると、横軸にライフサイクルCO₂削減量、縦軸に気温低下量をとると、対策の種類や建物の断熱条件によって、効果が大きく異なること、目的に応じた適切な計画・設計が必要であることが分かる。

集合住宅街区のライフサイクルCO₂排出量をみってみる。壁面緑化はユニット型、登はんは地植えする登はんA（灌水不要）、プランターに植える登はんBと3種類とした。断熱条件によらず減少するのは、壁面緑化（登はんA）と壁面緑化（登はんB）、断熱条件によらず増加するのは、壁面緑化（ユニット）である。窓面透過日射を遮蔽する登はん型壁面緑化は、断熱条件への依存性が小さく、また1年生植物であるため暖房需要増にもつながらない。

4-3. 省エネルギー技術の気温低減効果

今まで省エネルギーは意味がないような話をしてきたが、削減の仕方によっては気温低下に効果がある。それは大規模に人工排熱を削減できる場合である。そこで、東京都区において、今までのシミュレーションモデルCM-BEMにメソ気象モデル（WRF）を連成したWRF-CM-BEMを用い、地域の気象、その下の街区の気象、ビルの気象により評価した。最初は電気自動車である。電気自動車の車両効率、ガソリン自動車の約5倍なので、排熱量は約1/5になる。火力発電で生じる排熱は海に出るので都市部には影響はない。ガソリン車をそれぞれハイブリッド車、燃料電池車、電気自動車に全て置き換えたとき、当然ながら車両効率の最も高い電気自動車による気温低下が、特に顕著であり、特に都心部で効果が大きい。地上緑化、天空率のデータも考慮すると、建物の密集する都心部は日陰が多く、地上緑化の効果が小で、地上緑化が効きにくいエリアで、電気自動車による気温低下が顕著である。空間的には地上緑化と電気自動車は相補的な関係にある。千代田区神田鍛冶町・東松下・富山町地区で気温低下が顕著であり、時刻別平均気温低下量を評価すると、車の走行量の多い朝と夕方の気温低下量が大きい（夏季18時の気温を0.25℃低下させる）ことが分かる。ヒートアイランド対策が効きにくい時間帯で、電気自動車による気温低下が顕著であると言える。

もう一つはヒートポンプ給湯器である。従来型ガス給湯器は、ガス燃焼エネルギーの約8割がお湯を作るために使われ、残りの約2割は排熱となって大気中に捨てられる。一方、ヒートポンプ給湯器は、電気エネルギーにより、その倍以上の熱を大気から吸収してお湯を作り、その分だけ空気は冷やされる。実際に新宿の集合住宅で実測により冷排熱による気温低下を確認した。そこで、ガス給湯器の熱効率を0.8、ヒートポンプ給湯器の出力4.5kW、COP3.72、地上緑化は舗装面の30%とし、東京都全体の午前5時における平均気温低下量をシミュレーションした。その結果、

ヒートポンプ給湯機は、集合住宅エリアでの気温低下ポテンシャルが大きいこと、地上緑化は、夜間の気温低下ポテンシャルが小さいことが分かった。また、ヒートポンプ給湯器と地上緑化のシナジー効果を調べるため、江東区東雲一丁目を対象とし、ヒートポンプ給湯器による気温の変化を時刻別にシミュレーションした。その結果、ヒートポンプ給湯機は、地上緑化が効きにくい夜間の気温を下げる効果が顕著（5時で0.5℃低下）であり、地上緑化を併用すると気温低減効果は増大（5時で0.8℃低下）し、両者の単純合計（5時で0.6℃低下）より大きく、シナジー効果が表れた。このシナジー効果は、緑地の場合、アスファルト舗装より地表面温度が低いいため、大気が安定（対流が起こりにくい）し、冷排熱が地表付近に留まりやすく、地表付近の気温低下が大きくなるためと推察される。

5. 気温低減方策の現状と今後

5-1. 現状

- ・多くの気温低下方策は、冷房需要減からCO₂排出減と想像されやすいが、暖房需要や製造・維持管理に伴うCO₂排出を考慮すると、CO₂削減方策とは位置づけにくい。
- ・事務所街区では高反射率塗料や屋上緑化の一部、住宅街区では緑のカーテンが気温を下げつつCO₂排出も下げるが、絶対量は大きくない。
- ・熱中症の軽減からは、放射の制御による人間の身の回りの熱環境の改善（卑近な例では日除け傘の利用など）の方がより有効であると考えられる。（必ずしも気温を下げる必要はない）

5-2. 今後

- ・桜の開花が早まるなど、熱中症以外の影響を考えると、地域や街区の気温を低下させることも必要である。
- ・省エネルギー技術と認識されがちな電気自動車やヒートポンプ給湯機は、気温低下効果も大きく、これらと相乗効果が見込める被覆対策も気温低下の観点からは重要になるだろう。（ただしCO₂排出削減効果は大きくはない）
- ・より気温が高く、都市の成長も目覚ましいアジアのメガシティでは、さらに大きな効果が期待されるだろう。

（文責・飯塚弘）