

30年後を見据えた「究極の空調」

お茶の水女子大学名誉教授（生活環境研究センター）

田中 辰明



この度法人化30年をお迎えの由、まことにおめでとうございます。継続は力なりと申しますが、この間幾度かあった苦難も無事乗り越えられ30周年を迎えられたのは、関係者ご一同の大変なご努力の賜物と敬意を表します。

私たちが大都市に集中して生活できるのもまさに冷凍・空調技術あってこそであります。日本では冷凍空調技術があること自体当たり前になってしまい人々はそれを当然のこととして捉え、大して感謝もしていません。冷凍空調技術が我々を取り巻く空気と同じような存在になっております。今から17年ほど前にポーランドを旅行したことがあります。まだ解放前の旧東欧圏ということで、当時の一人旅はそれなりに緊張感もありました。ポーランドのどこまでも続く平原に、田園地方では結構牛や羊を見ることができました。しかしこれが首都のワルシャワに入ると食料品が欠乏しており、数少ない食料品店には人々が長蛇の列をなしていました。すなわち当時のポーランドにはコールドチェーンがなく田園での畜産物を都市に輸送することができないのでした。

コールドチェーンが発達し、近くのスーパー、コンビニに冷凍食品として食料が十分に備蓄されているわが国では各家庭に直接大量に食品を蓄える必要も無く、自らの生活を謳歌しております。冷凍技術が未発達であった時代は食料は塩漬けや砂糖漬けにされて保存され、これは必ずしも健康に良くなく人間の寿命を縮めた原因ともなりました。こうやって考えてみると冷凍技術の人類に対する貢献は大変なものがあり、この技術に従事されてこられた方々のご努力には心から敬意を表し、感謝の意を表さなければなりません。

さて私は「今後30年を見据えた究極の空調技術」という課題を与えられております。今から30年前と現在でどのような変化があったか、これを考え30年後を予測してみましょう。今から30年前と申

しますと1976年、第一次石油危機があったのが1973年でしたから、当然省エネルギー意識が高まった時代でもありました。また省エネルギー問題とともに地球環境保護へ目が向き出した時代でもありました。

公害問題もひどい時代でした。当時筆者はベルリン工科大学ヘルマン・リーチェル研究所での客員研究員としての勤務を終え帰国、国家プロジェクトであったサンシャイン計画に参加、大阪枚方市で太陽熱で冷暖房給湯を行う実験住宅の建設に携わっていた頃であります。その時に太陽熱で冷暖房給湯を行うには、太陽熱が単位面積当たりでは希薄なエネルギーであるため住宅自体を省エネルギー的にしなければならぬと考えドイツで勉強した「外断熱工法」を採用しました。

コンクリート建築の外断熱工法には 1. 断熱材が建物躯体の外側にあるので、建物が服を着たようになり外気温度や日射の変動から保護されます。したがって建物躯体にひび割れが入りにくくなります。2. コンクリートの熱容量が室内側に入るので、暖房が切れても急激に室温が変化しません。同様に夏季は冷房が切れても急激に室温が上昇することはありません。すなわち快適性に富みます。3. 室内から屋外にスムーズに水蒸気が抜け、壁体の内部に結露を起こすことはありません。従って壁内結露を起こすこともなくカビが生えません。カビを餌として集まってくるダニの被害からも解放されます。4. 既存の建物に断熱改修を行いやすくなります。極端な場合は、室内側をコンクリート打ち放しのまま仕上げるのが可能になるので、壁紙の接着剤や塗料から出る揮発性化学物質からも解放されるなどの長所があります。

よく外断熱工法と内断熱工法の比較などが示されている場合がありますが、熱貫流率はどちらも同じであるから省エネルギー的には変りが無いなどとする意見も存在します。しかし建築の外皮は

熱と同時に水蒸気も移動を行っております。熱と水蒸気の同時移動が非定常で解析できるプログラムにドイツのフラウンホーファー研究所が開発したWUFI（ウフィー）があります。これは使用しやすくあらゆる建材のデータと気象条件が入っております。このプログラムで解析を行うと日本の多くの土地で外断熱工法が有利であることが歴然として参ります。当然寒地である北海道など北部はさらに有利になりますし、南部である那覇では不利になることもわかります。

サンシャイン計画の住宅ではドイツ式の発泡スチレン10cmの断熱材を使用した外断熱工法を採用しました。しかしこれは国家プロジェクトであったので建築施工の学識経験者のご意見を伺うというプロセスがありました。しかし当時の施工の専門家は外断熱に経験が無く、さんざんのご意見を賜りました。ドイツではよくても日本は気候が違う、発泡スチレンを外側に張ったのでは2~3年でひび割れが入る、冬は良いかも知れないが、夏は考えが逆になるので、夏に結露が起きるなどでした。このような反対意見は多数ありましたが、どうか当時の通産省の賛意を得て外断熱施工をすることができました。しかしこの試験住宅は太陽熱利用の研究が主目的であったので、その実験が終了すると建物は取り壊され、外断熱自体の耐久性などは証明されないままプロジェクトは終了してしまいました。これと並行して当時の日本住宅公団の試験場でも同様の試験が行われましたが、研究終了と同時に建物は取り壊されました。仕方がなく、筆者は1980年に自宅を作るときに、これなら耐久性試験も行えるであろうと考え、こ



写-1 東京杉並の全面的に外断熱を施した田中ソーラーハウス。築後25年になるが全く損傷もなく、快適な生活が送られている。

こで外断熱工法を実施した次第であります（写-1）。

採用した工法はサンシャイン計画で行った外断熱工法と同じ密着式の湿式工法でした。すでに25年が経過しておりますが、損傷も全くなく満足しております。むしろ近隣の同じ時期に建設された住宅に比べ表面が汚染されない、ひび割れが全くない、心配して下さった夏型結露など全く生じないなど、長所ばかりであります。20年経過した時点で住宅の改修を行いました。当然窓周りのコーキング材料は交換を覚悟しておりました。しかし、いざ開けてみるとコーキング材料も外断熱材料とともにフレキシブルに動いており、損傷はなく交換の必要はありませんでした。建物が汚れにくいというのも理解しにくい点ですが、汚れは結露が原因となっています。目に見えない結露であってもこれが塵埃を引きつけ、よごれの原因となります。外断熱を行うと建物外側にも結露は起こらず、汚れにくいということになります。

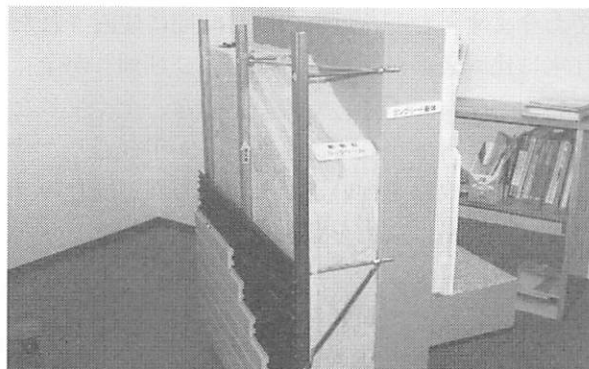
外断熱工法は我国でも当然にもっと早期に普及してしかるべきものと考えておりましたが、現実はどうでもありませんでした。わが国でも外断熱工法を試みる気運も高まりつつありますが、価格的な問題や設計経験がない、施工経験がないといった問題から必ずしも普及が順調とは参りません。

従来ドイツの建築は断熱がしっかり施されておりました。これが度重なる断熱条令の改正強化で断熱材の厚さが増しています。断熱は一般に外断熱で行われています。プレハブ住宅の場合は、外壁全体が断熱材で構成されているといっても過言ではありません。外断熱工法はドイツで発展普及してきた工法であります。外断熱には2つの方式があり、筆者は通気層のある外断熱と通気層のない外断熱に分けて評価して参りました。ドイツでは通気層のある外断熱を(Hintenlüftung Wärmedämmsystem：背面通気断熱システム)、通気層のない外断熱を複合断熱システム(Wärmedämmverbundsystem：WDVS)と呼び、法律用語にもなっております。そしてこの通気層のない外断熱が湿式外断熱であります。

通気層のある外断熱は一般的に大型の建物に採用されています。通気層のない外断熱は小型建築物に採用される場合が多かったが、最近では大型

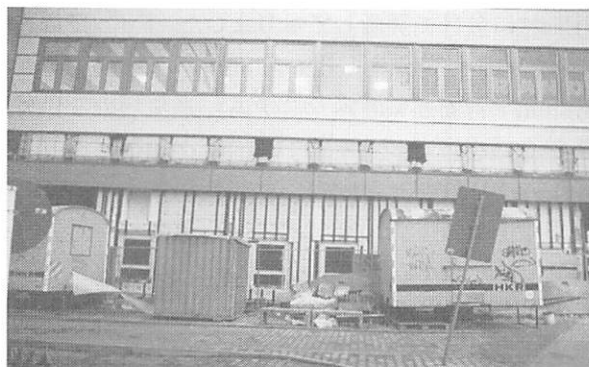
建築物に採用される場合も出てきております。断熱材として最近では高密度ロックウール（わが国ではロックウール板とも呼ばれる）、もしくは発泡スチレン板がよく使用されています。

写-2に通気層のある外断熱の模型を示します。

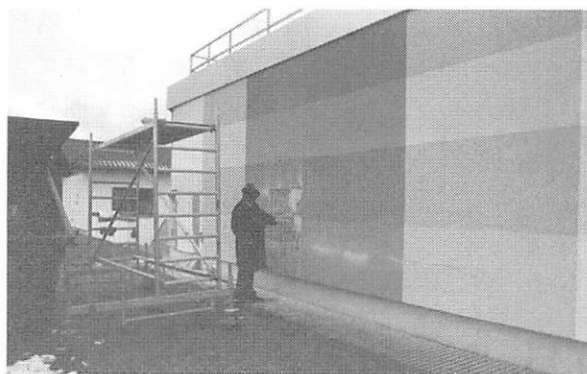


写-2 通気層のある外断熱の模型

床スラブが熱橋にならないことがわかります。室内で発生した水蒸気が外壁を通過して外へ出て行くことも理解できます。室内から出た水蒸気は断熱材の外側の通気層を通して外に捨てられます。極めてわかりやすい工法ですので、北海道でよく採用されました。ドイツでも通気層のある外断熱は存在します。写-3にベルリンで見た通気層のある外断熱の工事写真を示します。これは断熱材としてグラスウールが使用されています。しかしドイツでは最近では圧倒的に通気層の無い湿式外断熱工法が採用されています。これに関してはフラウンホーファー研究所で長年にわたり耐候性試験が行われてきました。ミュンヘンの郊外ホルツキルヘンで行われたのですが、西側の壁で仕上げ材の色を替え、接着モルタルの種類を替え、断熱材の種類を替え、長期にわたり実験が行われました。その様子を写-4に示します。



写-3 ベルリンのバスターミナルにおける通気層のある外断熱工事



写-4 フラウンホーファー研究所における外断熱の耐候試験

ホルツキルヘンは海拔700mの高いところにあり、夏は暑く、冬は降雪もあり寒い土地です。ここで耐えられた工法や建築材料はドイツのどの土地でも大丈夫であるといわれます。実験を西向きの外壁で行うのは西の外壁に日射が当たり日没になると急に壁の表面温度が下がります。そのときに表面の温度が低下しひび割れが入りやすくなります。湿式外断熱は当初太陽熱吸収の少ないように白い表面仕上げが推奨されていました。しかし建築家は常に白色で仕上げるとは限りません。そこで、フラウンホーファー研究所ではいろいろの着色をして試験を行い、着色をしても大丈夫であることを確認しております。その結果最近では湿式外断熱工法のほうが多く採用されるようになりました。

湿式外断熱工法が採用されたミュンヘンの集合住宅を写-5に示します。ここではロックウールの断熱材が使用されており、断熱材は接着モルタルで建物に接合されています。一方、写-6にベルリンの集合住宅における外断熱工事の様子を示します。ここでは断熱材としてロックウールが使用されていますが、断熱材はジベルで接合さ



写-5 ミュンヘンの集合住宅における通気層の無い外断熱工事



写-6 ベルリンの集合住宅における外断熱工事

れています。さらに写-7にはシュツットガルトの事務所建築の湿式外断熱工事の様子を示します。18cmという大変に厚い外断熱ですが、地盤に接する部分では押し出し発泡のスチレンが、土に近い部分ではビーズ発泡スチレンが、さらにその上ではロックウールが使用されています。このように断熱材が建物部位によって使い分けられているのは面白いことです。



写-7 シュツットガルトにおける事務所建築の外断熱工事

我が国においても建物の長期使用に心がけないと、資源の有効利用、産業廃棄物問題など重要な懸案事項の解決に至りません。ドイツで外断熱工事を行っている会社は左官業、塗装業が多く、これらが指導的立場に立っております。またこれら業種がBaden-Badenに湿式外断熱の協会を作り、工事に当たり標準の仕様書を作成したり、啓蒙活動を行っています。協会の会長はWolfgang Setzler博士で、所在地はFremersbergerstrasse 33, 76530 Baden Baden協会の名称はFachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.と呼んでいます。

さて拙宅で外断熱の住宅において26年にわたり生活をし、極めて省エネルギー的で、かつ快適な生活を送ることができました。空気調和冷凍にお

いても建物が粗末ではいくら冷凍技術・空気調和技術でがんばっても限界があります。外断熱の建物で、省エネルギーを図り、ここで冷凍・空気調和を施せば素晴らしい技術が展開できるものです。筆者は自ら外断熱住宅に住み、よさを理解している観点からその普及を訴えてまいりました。しかし、世の中、そうは簡単に同調はしてくれず筆者が外断熱を日本で訴えはじめてからすでに30年が経過しています。今後30年、どうでありましょうか？

先日30年前に製造されたドイツの外断熱に関するビデオが研究室整理の際にみつき、懐かしさに仲間と見入りました。このビデオが作られた時点からさらに30年前に施工した外断熱物件を破壊し、断熱材として使用されていた発泡スチレンの熱伝導率、透湿率、密度などが変化していないという状況を見せており、かつ外断熱施工の状況も見せておりましたが、現在見ても十分に学ぶべき点が多いものでありました。

10年一昔とも申しますし、10年一日の如しとも申します。わが国における外断熱の普及は正に10年一日の如しで、今後もどのように進展していくのか見当もつきません。この間に冷凍空調技術は自然冷媒や代替フロンの開発、中央式空調から分散式へと、さらにアナログ制御は影を潜め、デジタル制御へと進化してまいりました。

省エネルギー技術の進歩も相当なものがあります。今後30年は機械の進歩だけでなく建物の外断熱化を含めて進歩していくことが望まれます。冷凍空調技術は進歩しましたが、それを納める建築のほうは揮発性有機物質（VOC）の問題、カビ・ダニによる微生物汚染の問題、アスベストの問題さらに耐震強度の不足問題とマイナスの問題が続いて発生してきております。建築基準法は最低の基準を定めているものであります。しかしこれを勘違いし、建築基準法を守っていれば問題はなしとする風潮も存在しております。もっとレベルの高い基準があってしかるべきでありますし、建築と冷凍空調技術が手を取り合って今後の発展を成すことを望む次第であります。そのためには冷凍空調設備工業連合会から建築会への積極的な働きかけがあっても良いと考えるものであります。今後のますますのご発展を祈念申し上げます。