

「湿度制御における感染管理」

宮内彦夫

Infection management in the humidity control

MIYAUCHI Hikoo

1. はじめに

1976年7月米国フィラデルフィアのベルビュースタンホテルで開かれた在郷軍人大会において参加者やホテル周辺の通行人などに原因不明の劇症肺炎が集団発生し、患者数221名、死亡者29名に達した。後にその原因が屋上の冷却塔で繁殖した微生物が汚染水の飛沫によって外気吸気口から取り込まれ、ダクトを通じて館内にばら撒かれたことによる微生物感染症であることが判明した。79年、原因となった在郷軍人大会にちなんで Legionnaires' disease = 在郷軍人病、その菌は「Legionella (在郷軍人) pneumophila (肺を好む)」と命名された。本件はその後類似の事件を含め Sick Building Syndromes と呼ばれるようになり、対策として IAQ (Indoor Air Quality = 屋内空気質向上) 運動を生み、レジオネラ菌はやがて国内において所謂<24時間風呂>の水質安全性にも疑問を投げかけることとなった。また屋内空気汚染は建材等から発生する VOC (Volatile Organic Compounds = 揮発性有機化合物) をも包括し、最近では広義に SBS (Sick Building Syndromes = シックハウス症候群) とも呼ばれるようになっている。

2. ソリューションの歩み

広義のシックハウス症候群要因及び障害は多岐にわたり外気からの取り込み要因も加わる。

表 1. 屋内空気環境汚染要因

屋内空気環境汚染要因	
屋内要因	屋外要因
住宅の化学物質	花粉・POM
細菌・ウイルス	環境ホルモン
カビ・ダニ	臭気
建材自然放射線	その他(塵・黄砂等)
臭気	
その他生活発生粉塵等	

表 1. に示すように複合要因から屋内環境を守るには酸素の取り込み等を考慮すると大量換気が最も効果的な手段と考えられた。したがって除塵・消臭のみを謳う家電空気清浄器類では能力が限定的であって根本解決になりえない。しかし新鮮外気の取入れは大きな外気熱量の持込を伴うため快適性を保つ空調の負担が増大するという矛盾を生む。そこで換

気処理に当たっては全熱交換換気扇などが考案されてきたが、熱交換換気扇では機器局部の風量バランスはかろうじて取れるものの建物全体に及ぶ吸排気バランスを取る事ができない、ポジティブな温湿度管理はできない等機能が限定的であった。(表2.)新鮮外気を取り込み且つ室内を温湿度制御下に収めるには適当な機能を持つ外気処理装置の登場が待たれることとなった。

表2. 換気処理装置と基本機能

換気装置	機能有		維持or些少		x	機能なし		
	外気処理	除塵	除菌	消臭		除湿	加湿	冷却
・全熱交換換気扇	x	x	x	x				
・還気再生デシカント換気装置		x		x				
外気調和機								
・過冷却・再熱 除湿装置		x	x	x		x		
・固体除湿剤 除湿装置		x				x	x	x
・液体調湿剤 調湿装置								

80年代後半から米国においてシリカゲルなどの固体除湿剤を用いて最もエネルギー比の大きい外気潜熱(湿度)処理を中心とした所謂固体除湿剤デシカントロータ装置(図1.)が登場した。固体除湿剤ロータ装置は50年代には実用化されていたが工業用に供せられる事が多くロータ再生エネルギーの使用量が大きい為一般空調ではあまり利用されなかった。ところが米国においては大手電力会社が消え分散発電が進み発電排熱エネルギーが入手しやすい事からエネルギー再利用の上からもデシカント式処理装置利用空調が奨励された。(Advanced Desiccant Cooling & Dehumidification Program)

表3. 米国ADC&Dプログラム参加企業(着色は液体式)

Desiccant System Manufacturers			by AGA
Company	Equipment Type	Description	Sales '05
AIR Research Inc. <a href="http://www.air.com/">http://www.air.com/</a>	Desiccant - Liquid	6,000 cfm packaged liquid-desiccant AC	
Bry-Air <a href="http://www.bry-air.com/">http://www.bry-air.com/</a>	Desiccant - Wheel	600 - 10,000CFM Brypec, 600-100,000 CFM VFB	
Concepts and Designs <a href="http://www.cdihvac.com/">http://www.cdihvac.com/</a>	Desiccant - Wheel	700 - 40,000 CFM	
Drykor	Thermal Air Conditioner - Liquid desiccant system	Dehumidification and cooling in one unit 10 tons cooling, 2,500 CFM air	
Kathabar Systems Division <a href="http://www.kathabar.com/contact.htm">http://www.kathabar.com/contact.htm</a> <a href="http://www.rossairsystems.com/">http://www.rossairsystems.com/</a>	Desiccant - Liquid	Desic. Dehumid. to 7,500 CFM Liquid Desic. to 84,000 CFM	
Munters Corporation <a href="http://www.munters.com/">http://www.munters.com/</a>	Humidity Control	Desiccants and other Humidity Control Systems 300 to 8,0000	8.1 billion yen
Novelair <a href="http://www.novelair.com/index.htm">http://www.novelair.com/index.htm</a>	Desiccant - Wheel	BETA Testing a residential product	
Seasons4 <a href="http://www.seasons4.net/">http://www.seasons4.net/</a>	Desiccant - Wheel	4,000 to 50,000 CFM	
SEMCO <a href="http://www.semcoinc.com/">http://www.semcoinc.com/</a>	Desiccant - Wheel	Desiccant Systems, Recovery Wheels	

固体除湿剤を用いる方式は工業用低露点領域では優れた除湿能力を有するものの一般空

調領域では内/外気湿度差に必要な除湿能力の確保が困難で、特に温帯域以南の高温多湿気候では運用に難があり、大きな再生エネルギーを必要とするため再生用排熱の得られない場所での運用は不向きである。

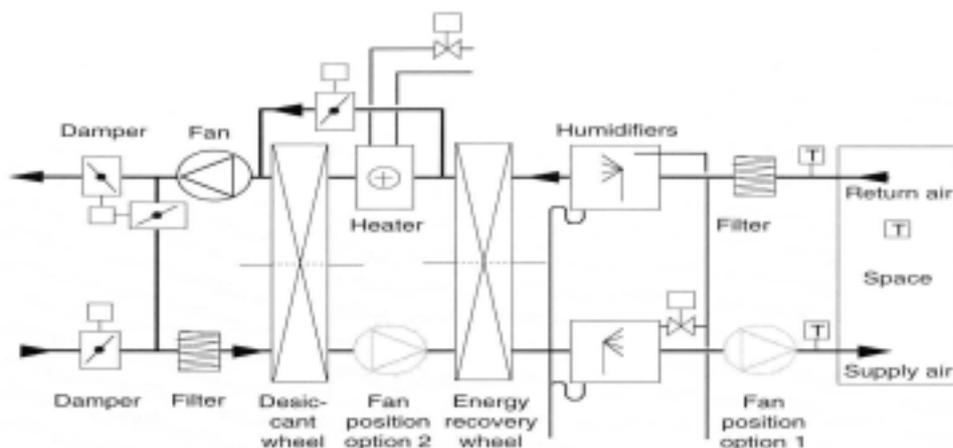


図 1 . 還気再生デシカント換気装置

国内でも 95 年前後から固体除湿剤ロータ装置が一般空調に取り入れられ、顕熱交換ロータを省いたり再生加熱器の効率改善が行われたりしてきたが除湿剤再生に大量のエネルギーを要し、加湿が困難なことから普及に至らなかった経緯がある。最近もシリカゲルを除加湿剤にヒートポンプを熱源として吸・排気熱交換機能を織り込んだ天埋型換気装置が登場したが、表 2 . にあらわされるように機能性・用途については限定的であろうと思われる。

2000 年前後米国において DOE ( エネルギー庁 ) 主導による ADC&D = デシカント空調推進プログラムの一環として液体除湿剤を使用するタイプの製品が登場した。液体除湿剤の使用は固体除湿剤ロータの登場以後衰退し一部製薬・醸造などの特殊な用途で細々と使われてきたが、これは裏返せば大勢が固体除湿剤ロータ式となった中で使用し続ける根拠があったと言える。表 2. の機能に表わされるように主剤である高濃度 LiCl 水和物=塩化リチウム水溶液は除菌性能に優れるからであろう。( 表 4. )

表 4 . 液体調湿装置の除菌性能例

培地	計測回数	CFU/m <sup>3</sup>			
		1	2	3	平均
PDA	入口採取 コロニ-数	160	65	80	102
	出口採取 コロニ-数	30	40	14	28
	減少率	81%	38%	83%	72%
M40YA	入口採取 コロニ-数	130	—	110	120
	出口採取 コロニ-数	5	—	25	15
	減少率	96%	—	77%	88%

### 3. 液体調湿剤方式による通年湿度管理

表 2.に見るように液体調湿剤方式は他方式にない幾つの特徴を有するが、特徴の一つとして加湿機能あげられる。湿度管理においてはややもすると除湿にばかり焦点が当てられるが、安全な加湿管理は課題が多く水質、気化熱源に対する配慮が必要で、現在最も安全とされる間接スチーム加湿は気化量 1kg 当たり約 10 万円の設備費と水質浄化と気化熱源のための相当な運転コストがかかる。液体調湿剤方式では加湿機構が除湿重機能的であるためイニシャルコストがないも同然である。ランニングコストも高濃度塩水に水を吸収させるため、浄水装置が不要であり、かなり低減されている。

表 5. 必要な加湿量例

外気 0.8 70%RH	給気 22 50%RH	面積 m <sup>2</sup>	容積 m <sup>3</sup>	換気量 m <sup>3</sup> /h	必要加湿量 kg/h
住宅		100	300	180	1.2
事務所		1,000	3,000	1,800	11.9
店舗		3,000	12,000	7,200	47.5
介護施設		4,000	12,000	24,000	158.4

表 5. は建物用途別に必要な加湿量例を表したものであるが、東京周辺の冬季外気条件で加熱のみ行くと相対湿度は 10~20%RH に低下してしまい屋内環境基準である 40%RH を維持するのは至難である。卓上加湿器程度では台数を増やしても及ぶところでない加湿量であることがわかる。

通年湿度管理は液体調湿剤方式の換気装置によって一般空間でも実現可能な状況になりつつあると言える。

#### 4-1. 通年湿度管理による効果<インフルエンザ>

通年湿度管理の効果について 85 年 ASHRAE(全米空調学会) 発表の「室内有害物質と相対湿度の相関」が有名である。これに拠れば年間屋内相対湿度を 40~60%RH に保つ事によって感染症、カビ、オゾンの発生等種々の有害物を抑制できるというものである。現在最も恐れられている問題は感染症であり、特に緊急性があるものとしてインフルエンザウイルスが挙げられる。近年特効薬タミフルの効かない症例が増加しつつあると聞く。また、より強力な変異種の登場も予想されている。湿度管理による効能について 1961 年 G.J.Haper によって発表された<Survival test with for viruses>と題する論文が有名である。(図 2.)

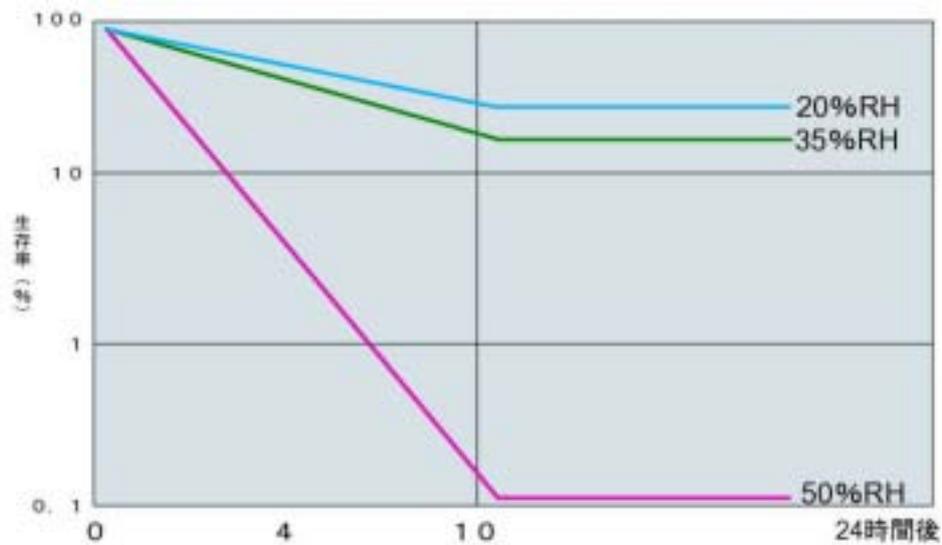


図2. 相対湿度とインフルエンザウイルス生存率との相関

この発表によってインフルエンザウイルスは湿度に弱く、対処法として加湿による室内湿度管理が有効であることが確認された。後年国内においても同種の研究論文が発表されており特に H16 年に発表された庄司医師・秋田県衛生科学研究所などの疫学調査研究（図 3.）は流行因子を温度と捉えると基準とはなりにくい点に着目し、＜水蒸気圧 = 絶対湿度＞という空調的な視点から行われており非常に興味深い。流行は温度、相対湿度より水蒸気圧と逆相関しウイルスの 6 時間後の生存率は 6mb 4.2g/kg では 50%の生存率が 24mb 16.7g/kg でゼロとなり、地域差はあるものの概ね 10g/m<sup>3</sup> 8.3g/kg 以上の絶対湿度下では流行が起らないとされている。この現象については冬期間 8g/kg の館内湿度管理を液式加湿機を導入して実施中の 70 床老人介護施設からも冬期間発症者ゼロとの報告がされており、インフルエンザ予防効果は高そうである。

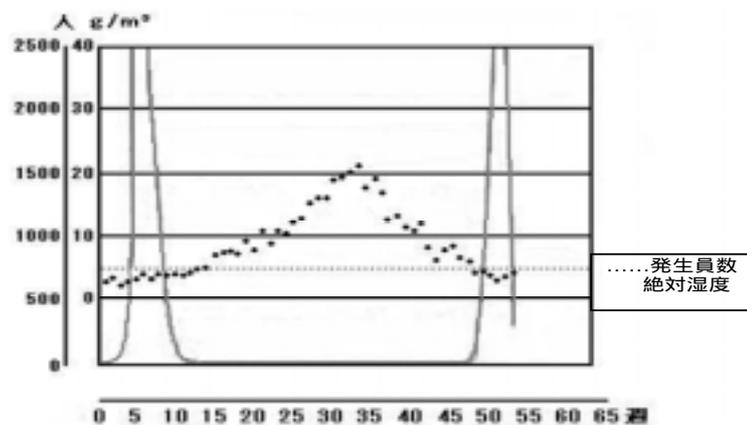


図3. '85年仙台地方のインフルエンザ罹患者数と水蒸気圧の関係

ところで感染変異過程のひとつに挙げられる野鳥-飼育鶏の関係であるが、これまで被害をこうむった養鶏場では飼育鶏が1羽残らず処分され、経営的にも苦境に追い込まれた事は大きく報道された。現在の鶏舎(図4.)は鶏体温発熱冷却の為大量の生外気を取り入れる方式が主流である。そのため保菌野鳥の飛来が至近あれば鶏舎の防御性は極めて脆弱である。新種インフルエンザ出現予防には対人空間ばかりでなく、鶏舎換気構造にも注意を払うべきかも知れない。

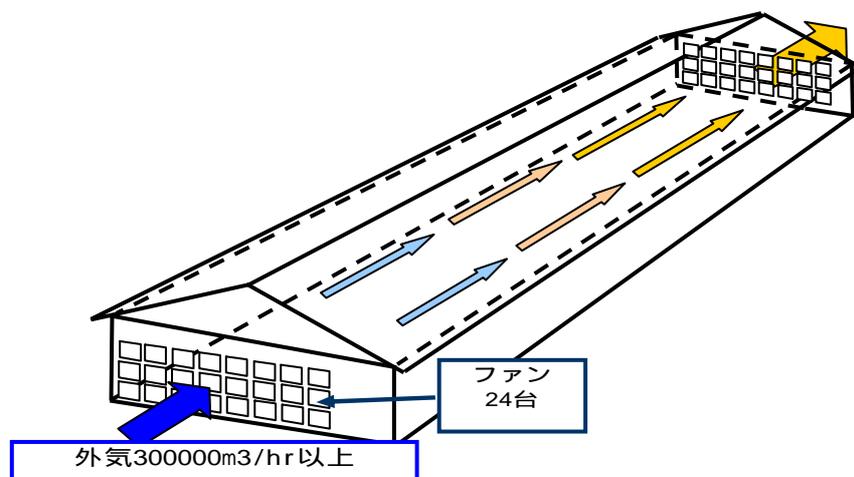


図4. 一般的ウインドレス鶏舎の換気構造

#### 4-2. 通年湿度管理による効果<ノロウイルス>

図5.はノロウイルスの集団発生状況を週推移で集計したものである。食中毒関連菌であるにもかかわらず乾燥時期の11月後半から3月にかけて多発している。これは感染者の嘔吐物などが乾いた空気の中で超微粒子化され再浮遊する為に起こる空気感染によるところが大きいとされている。

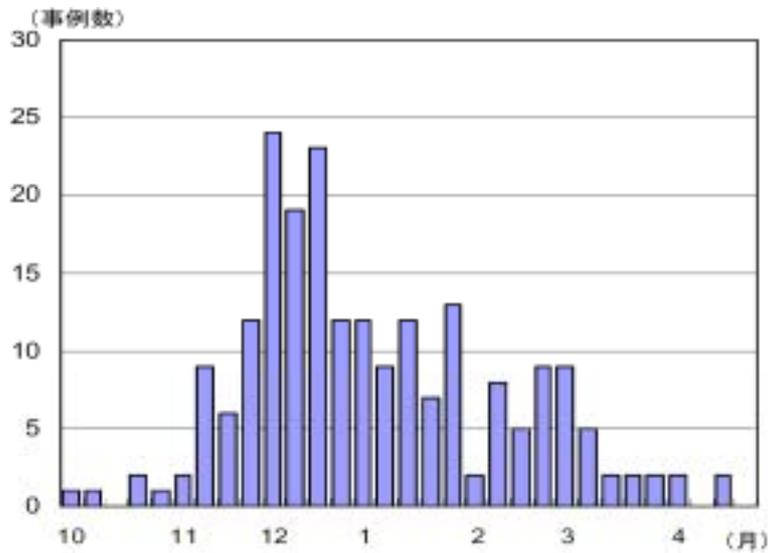


図5. ノロウイルスによる集団感染事例数の推移

対策として消毒薬などの散布はもちろんであるが加湿することで再浮遊を抑制し、換気を促進することが感染抑制に繋がると考えられている。換気に見合った加湿能力、汚染空気を滞留させない適正な換気導線への配慮が必須であろう。

#### 4-3. 通年湿度管理による効果<食中毒>

食中毒は空気感染ではないが湿度管理と密接である事を窺がわせる。(図.6)東京都では1966-1975年に掛けて4-11月、7-9月の食中毒発生件数と気象要素との関係を調査したところ不快指数が0.7と高い相関を示し、次いで平均気温が0.65を示したという。また発生原因別では腸炎ビブリオが同様に0.96と高い相関を示したという。一方降水量及び相対湿度については負の相関が見られたという。

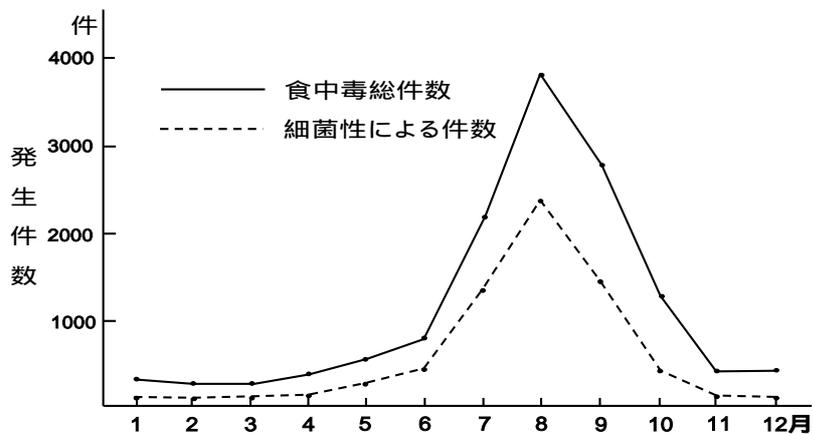


図6. 全国食中毒の月別発生状況(1966-1975年 除沖縄)

不快指数 (D.I.) が乾球、湿球温度から算定される事を考慮すると不快指数は相対湿度ではなく水蒸気圧 = 絶対湿度に近いと考えられ、降雨時は見かけ相対湿度は上昇するが、温度が低下するため絶対湿度が下がる。結果、降水量及び相対湿度については負の相関が見られたということであろう。従って不快指数も下がることになる。

図 6.によれば発生件数は 6 月から急増するが 5 月の外気絶対湿度 ( 10g/kg ) 同等下に湿度管理すれば予防効果は大きいといえる。

#### 4-4 . 通年湿度管理による効果 < その他 >

湿度管理による効果は感染症に限らず、所謂シックハウスに謳われる有害物一般に対しある程度の抑制効果を生む。不適當な湿度によって引き起こされる身近な例として温暖時のカビと冬の静電気が挙げられる。

カビについては美観の問題ばかりでなく臭気、健康問題を引き起こす要因となる。

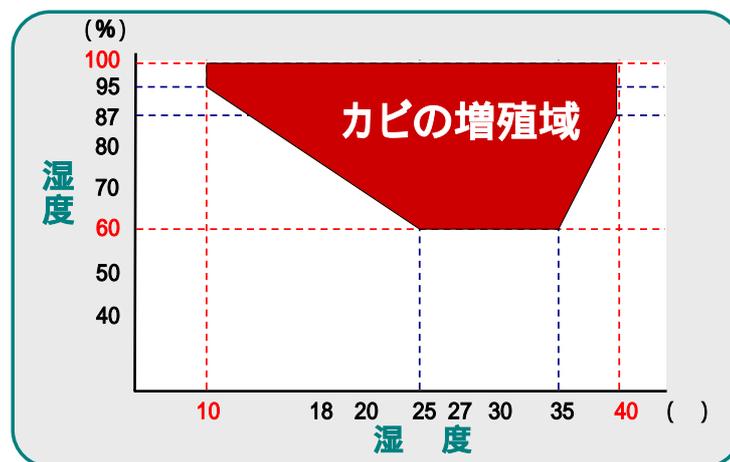


図 7. カビの発生環境 (日本防黴学会)

図 7 によればカビは 10 とかなり低温でも発生することがわかる。生ものを扱う食品工場などでは低温化したため相対湿度が上昇し、黒カビが蔓延する事態となる例をよく耳にする。図 7 から明らかなように湿度を適正化すればカビの蔓延は防止できる。

図 8. は冬季暖房加熱による過乾燥によって発生する不快な静電気の障害と発生要因を示したものである。

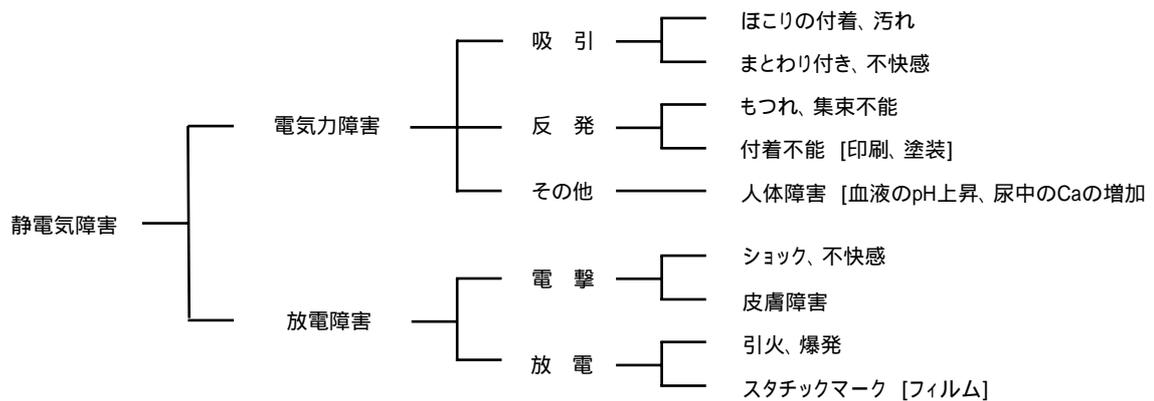


図 8. 静電気による障害分類

静電気障害は一般に工業用において重大な事故要因ともなりえるもので専門学会すら存在するが生活の中においても健康傷害を引き起こす因子である。静電気の発生は適切な加湿による湿度管理により抑制が可能である。

既述のように屋内環境管理は換気を基本として夏の除湿、冬の加湿、冷却、加熱、除塵除菌、除臭と多機能性が要求されるが、興味深いニュースとして液式調湿換気装置の主剤である LiCl 溶液について米国 NREL (エネルギー再利用研究所) レポートに拠るとそのフィルタ特性は NBC (核・生物・化学) 攻撃防御に有効で製品化が図られつつあるとのことである。(図 9.)



図 9. LiCl 利用 NBC 防御フィルタ装着試験風景

## 5. おわりに

在郷軍人病は後年レジオネラ属菌を含むエアロゾルを吸入することで感染し、エアロゾルが  $5\mu\text{m}$  以下になると肺胞に達し易くなり、肺炎になると解明された。 $5\mu\text{m}$  以下になると肺胞に達し易いというのはアスベスト禍にも共通している。感染症については 1 桁小さい  $0.5\mu\text{m}$  以下の世界であるが、強力なインフルエンザ新種出現が予想される昨今、特効薬タミフルの効かないウイルスの増加も伝えられ、情勢は予断を許さない。特に抵抗力の弱

い老人介護施設、患者が集中する医療施設、学校施設では集団発生禍の被害は甚大であることが予想される。予防策は専門医療系処置も含め様々であるが、空気感染対策の上から安全な大量加湿機能の備附は予防策として効果的と思われる。また地球温暖化の中でマラリアなどの熱帯性感染症の北上も伝えられ、益々温湿度管理の重要性は高まっていると言える。

<参考文献>

- (1) GJ Harper : Air-borne micro-organisms: survival test with four viruses. J Hyg Camb 1961;59:479-86
- (2) 柚元 玲・田中辰明:(B-7) リキッドデシカント空調機による浮遊真菌除去効果 平成 18 年 第 24 回空気清浄とコンタミネーション研究大会 発表論文
- (3) 原田誠三郎・庄司 眞・他:2001 年から2002 年の大館市及び秋田市における絶対湿度とインフルエンザ流行に関する調査研究 感染症学雑誌 第78巻第5号
- (4) 庄司 眞:気象と感染症流行の相関に関する研究第1報 抗酸菌研究所雑誌 Vol.37, No3・4, PP. 327-331 (1997)
- (5) 庄司 眞:気象と感染症流行の相関に関する研究第2報 抗酸菌研究所雑誌 Vol.40, No2, PP. 95-106 (1998)
- (6) 小野雅司:地球温暖化による人類の生存と環境リスクに関する研究 地球環境研究 平成7年度終了研究成果報告集2. pp428-441 (1996)
- (7) 藤井幸雄:食中毒発生の気象学的考察 御茶ノ水医学雑誌 Vol27. No4, pp.363-371(1979)
- (8) DOE/G August1999/Revised June2000 10099-873
- (9) 東京都健康安全研究センター(対策緊急タスクホース中間報告第2報)
- (10) 木村裕和:繊維・高分子材料の帯電性とその評価方法 (社)大阪府技術協会テクニカルシート 18 (1998)
- (11) NREL: Distributed Thermal Energy Technologies-Air Filtration for Homeland Security July 25, 2008