特集：乾燥技術特集

粉砕技術を応用したユニークな乾燥機 直接および媒体攪拌型気流乾燥機

Unique Dryers Applying the Grinding Technology,
Direct and Media Agitating Flash Dryer

ホソカワミクロン株式会社　井上 義之
Yoshiyuki INOUE

1. はじめに

乾燥機は、その付帯設備の大きさもあって、イニシャルコストが大きい装置である。さらに乾燥は粉砕と同様、多くのエネルギーを必要とするプロセスであり、その効率化は生産における競争力の向上だけでなく、省エネルギー化や、それに伴う環境問題への対応に結びつく重要な因子である。本稿では当社が開発・販売する、粉砕技術も応用した最新の二種類の乾燥機として、直接加熱型乾燥機（DMR−H）と間接加熱型気流乾燥機（XB）について紹介する（**図-1**、**2**）。

二種類の装置は気流乾燥機の一種であるが、一般的な気流乾燥機とは大きく異なる構造を持ち、通常の気流乾燥機では得られない性状を示す乾燥粒子を得ることができる。

2. 高速衝撃式微粉砕機の技術を応用した直接加熱型乾燥機 DMR−H

2-1　本装置の目的と開発の背景

本章で紹介する乾燥機が対象とする原料形態は、脱水機などで脱水された後に得られる固形の物質である脱水ケーキや、粘土状の物質、あるいは植物の葉などの比較的大きなサイズのものである。これらは比表面積が小さく、内部への伝熱が緩やかであり、乾燥に必要な熱量を与えることが難しい。このため材料内部の乾燥速度が遅い。製品サイズを原料の大きさのままで保持しなければならない場合、解決は非常に困難であるが、粉体製品を得たい場合、ひとつの解決策がある。それは熱交換を促進させるために比表面積を増加させる、すなわち分散・粉砕操作を行う方法である。しかし湿潤粉体の塊は細かくしようとしても、機械に

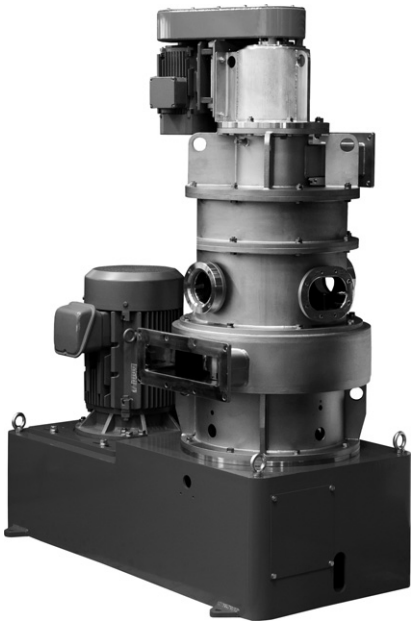

図-1　直接加熱型乾燥機（DMR−H）

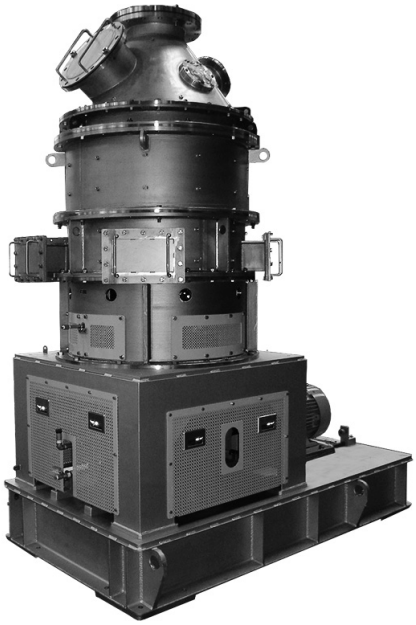

図-2　間接加熱型気流乾燥機（XB）

付着して運転できなくなる場合が多い。また分散機や粉砕機を乾燥機の前段に設置し、直列で運転する方式は、設置・イニシャル・運転・維持の各コストの増大を招きやすく、これらの課題を解決する方法が望まれていた。

2-2　粉砕技術を応用した乾燥機の開発

当社は創業以来、粉砕機・分級機の開発、改良の知見を多く有しており、それを基に1959年粉砕機と乾燥機を一体化させた装置を開発した。この装置では遠心力型気流式分級機を内蔵した粉砕機に熱風を供給することにより、乾燥と粉砕の同時進行を可能とした。これにより先程の課題は解消され、数十μm の平均径を持つ粒子を得ることができるようになった。また強力な分散力を得られるため、一般的な気流式乾燥機よりもはるかにコンパクトになり、設置面積・高さともに抑えることができる。また粉砕機と同程度の粉砕性能を持っていることと、分級機により粒子径が制御できることから、微粒子を製品として得られるという特徴も併せ持つ。

また製品水分値は、出口温度すなわち入口熱風温度と供給能力の調整により制御するが、その他にも粒子径の制御によっても制御が可能である。この際、大きな粒子は水分により互いに付着し、見かけの大きさが大きくなっていることを利用する。分級回転数を制御することにより過剰な乾燥を防ぎ、最適なランニングコストでの運転を実現する。

これらの特徴により、湿式合成される染料や顔料、あるいは軽質炭酸カルシウムやシリカなどの無機物粒子の乾燥に広く使われる。

その後、この装置の基本概念はそのままに、多くの改良を加えて2000年に直接加熱型乾燥機を開発した。本機は無機物原料だけでなく、健康志向の高まりに伴い大量に生産されるようになった豆乳の副産物であるおからの乾燥や焼酎かすの乾燥に使われている。また桑の葉を切断したものを原料とすることで、桑の葉の微粉末を効率よく得られるようになった。

一般に高温ガスの温度を上げるほど、乾燥効率が高くなり、処理能力が増加することが知られている。高温ガス発生のための設備投資やランニングコストは上昇するものの、それを補うだけの能力の向上が期待できる。例えば直接加熱型乾燥機では最高400℃の熱風を供給することができるが、処理能力の向上のためにはさらなる高温ガスの使用が不可欠であった。しかし、高温場で長時間の高速回転を維持できる金属はほとんどなく、回転軸や軸封部分が高温場に曝されない構造を新たに考慮する必要があった。これを解決したのが直接加熱型乾燥機 H 型であり、600℃のガスを利用することができる。また原料の分散と製品の微粒子化機能をさらに強化するため、分散部のハンマー周速を当社の微粉砕機と同じ130m/s とすることに成功した。

2-3　DMR−H の構造

図-3 に DMR−H の構造、**図-4** に標準フローを示す。本機は竪型円筒状で、下部に粉砕部、中間部に供給口、上部に分級部を有する。供給された原料は、粉砕部に落下し、分散ローターの回転によって分散・粉砕され、下部から流入する熱風と接触することで効率的に乾燥される。

乾燥粉砕された粒子は、気流によって上部分級部へ運ばれる。微粉は気流と共に分級羽根を通過

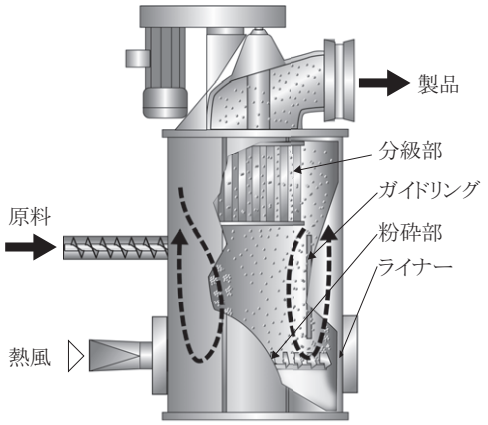

図-3　DMR−H の構造

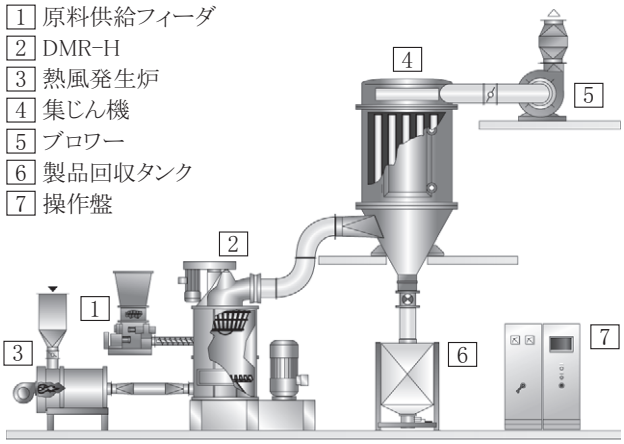

図-4　DMR−H の標準フロー

して、集じん機で回収される。粗粉は、再び本体下部の粉砕部へ落下し、分散・粉砕・乾燥される。製品粒子径は、分級ローター回転速度で決定され、製品水分値は乾燥機出口温度で決定される。

なおドレンの回収が必要な場合は、コンデンサーやスクラバーが追加される。

2-4　DMR-H の特徴

1）高い乾燥性能と少ない機内付着

分散ローターを従来より高速回転することで、強力な衝撃力と機内旋回流が発生するため、原料の分散性が良く乾燥効率が高い。このため、ケーシング内壁への未乾燥原料の付着はほとんど発生しない。

2）ライナーへの付着の軽減

ライナーは静止しており、しかも湿潤原料が乾燥前に衝突しやすいことから、付着が生じやすい。

一方、高温に加熱された固体上に液滴を落下させるとライデンフロスト現象により、液滴が固体に接触せず、転がるように移動することが知られている。これは液体が、その沸点よりはるかに高い温度に熱せられている高温固体に滴下すると、蒸発気体の層が液体と高温固体との間に生じることによる。この現象を利用すれば、液体や湿潤固体の付着を抑えられる可能性がある。そこでライナを加熱する構造を採用したところ、付着・固着が軽減された。

3）微粉乾燥製品を製造が可能

強力な分散機構と高性能分級機構により、乾燥・粉砕・分級が瞬時に行え、微粉乾燥製品の製造が可能である。**図-5** にサブミクロン粒子の入ったスラリーをスプレードライ、プレスケーキを間接加熱器で乾燥後に粉砕したもの、直接加熱型乾燥機の三種の方法で乾燥して得られた製品の粒子径分布を示した。原料の粒子径分布には到達していないものの、直接加熱型乾燥機が最も細かい粒子径分布を持つ製品を得られていることがわかる。

4）乾燥品の粒子径調整が容易

分級機の回転速度を変更するだけで、乾燥品粒子径の調整ができる。

5）製品水分の調整が容易

製品水分値は、分級機の回転速度による機内滞留量に影響を受けるが、概ね乾燥機出口温度によって決定される（**表-1**）。

6）装置がコンパクト

分散により高い熱容量係数がとれ、スプレードライヤの半分以下の設置スペースで設計でき、メンテナンス性にも優れる。

表-1　製品水分と乾燥機出口温度の関係

乾燥品水分（%W.B.）	乾燥機出口温度（℃）
12－5	50－ 60
5－3	60－ 80
3－1	80－100
1以下	100－110

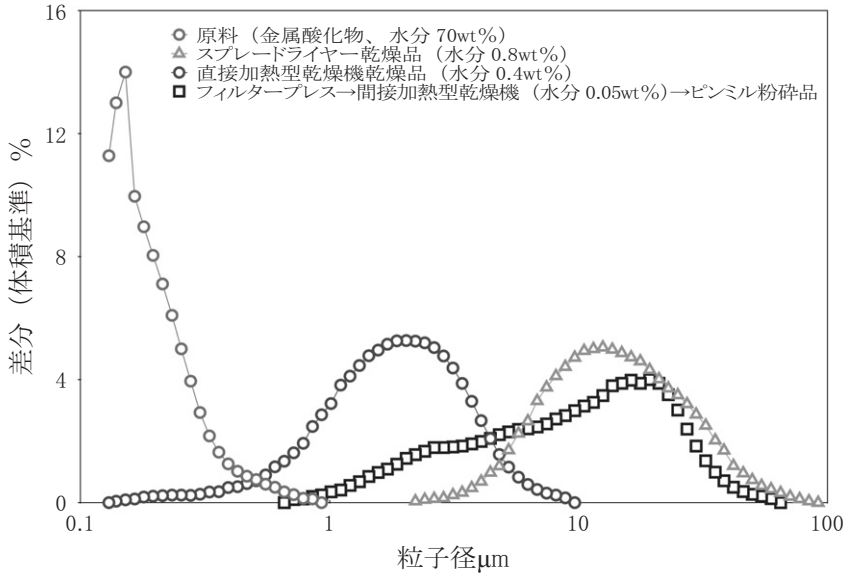

図-5　乾燥品の粒子径分布における乾燥機の影響

7）高いエネルギー効率

スプレードライヤやロータリドライヤに比べ、50～70％の省エネルギー運転が可能である。入口温度600℃での乾燥操作にも対応でき、より高いエネルギー効率が得られる。

8）製品温度が高くなりすぎない

直接加熱乾燥では、すみやかに乾燥品が機外に取り出されるため、熱エネルギーは蒸発潜熱に対応する分だけが使われ、品温がほとんど上昇することがない。品温は出口温度と同じか、それより低くなることが知られている。

9）豊富なオプション

粉接部セラミックス仕様ガイドリング、特殊湿粉フィーダなどの周辺機器を用意しており、さまざまな原料に対応できる。

2-5　DMR-H のアプリケーション例

無機物から有機物まで、多くの種類の原料の乾燥に用いられる。特に湿式合成された粉体を乾燥させる場合に用いられる。具体的には軽質炭酸カルシウムや難燃剤としての水酸化マグネシウムなどが対象になることが多い。

一方、直接加熱型乾燥機の開発以来、食品残渣の乾燥にも用途が広がった。これらの材料は豊富な栄養分を持つにもかかわらず、腐敗しやすく、再利用が困難であった。また乾燥しても粒子が大きく、人が口にするとざらつき感が強く、不快感を生じさせてしまう。このため乾燥品は、主に動物の飼料に混ぜて使われることが多かった。また価格が食品に使用する場合に比べて数分の一以下と安価であり、処理コストとのバランスが問題であった。乾燥品を粉砕機にかけることも可能だが、コストの問題がある。一方、直接加熱型乾燥機では、一台で従来よりも微細な乾燥粉体を連続的に得ることができる。このため従来は廃棄するしかなかった原料を、高い価値を持つ製品に乾燥機だけで作り変えることが可能となったため、さまざまなお客様に採用いただけるようになった。

3. 間接加熱型気流乾燥機（XB）

3-1　本装置の目的と開発の背景

直接加熱型乾燥機は原料の機内滞留時間が短く、装置がコンパクトである利点を持つが、その特徴ゆえに、溶液状あるいはスラリー原料の乾燥は得意ではない。これらの形態の原料を乾燥させるためには、二流体ノズルなどを使って微細化した液滴を比較的広い空間に噴霧し、乾燥させる方法が取られることが多い。この方法は装置からのコンタミも少なく、比較的簡単な構造を持つ装置になることが多いため、イニシャルコストも比較的安価に抑えることが可能である。さらに乾燥中に粒子同士が凝集し、流動性の良い球形顆粒体が得られることも多い。しかし逆に言えば、微細な粉体を得るためには粉砕が必要になることが多いことになる。乾燥品の粒子径が液滴径に依存する傾向が見られる場合があるが、高粘度液状原料の微細化は難しく、微細な粒子を得ることが難しいという問題もある。このため製品によっては、これらの形態の原料においても装置の省スペース化と、製品粒子の微細化を実現したいというニーズがあり、これに対応する乾燥機が要求されてきた。

3-2　粉砕機技術を応用した間接加熱型乾燥機の開発

液体原料を効率的に乾燥させるために加熱した固体に吹き付ける方法が知られている。この方法では乾燥は固体上で起こるため、大きな空間を必要とせず装置をコンパクトにできる。

しかし、この方法では乾燥した製品を固体壁から取り除く機構が必要になったり、液滴は固体上で広がりやすく、乾燥しても膜状になってしまい、粉体にならない問題がある。

一方、粉砕機の一種に金属あるいはセラミックス製のボールを充填させた容器に粉砕したい原料を投入し、ボールごと攪拌することによって微粉砕を行う装置がある。これは媒体攪拌型粉砕機と呼ばれる装置であり、原料がボールとボールの間に挟まれることによって粉砕される。また微細化してボール表面に付着した粉体層がボール間の衝撃・圧縮・せん断力の作用によって、超微粉砕されることも知られている。

この装置に熱風を導入すると、熱風とそれにより加熱されたボールに吹き付けられた原料が加熱されるため、液状原料を効率的に乾燥できる。つまり、直接加熱と間接加熱を併用した乾燥が期待できる。前述の理由により、ボール上で乾燥された粉体層は粉砕されてボールから剥離し、熱風により搬送することができる。これが媒体攪拌型乾燥機の基本原理である。

3-3　間接加熱型気流乾燥機（XB）の構造

図-6 に間接加熱型気流乾燥機（XB）の構造、**図-7** に標準フローを示す。媒体ボール攪拌機構を本体底部に備え、ボール攪拌により液状原料を分散する。攪拌機構の底部からスリットを通して吹き込まれた熱風とボールによって分散された原料との間で熱交換が起き、湿分が蒸発する。乾燥粉は、ボール表面から剥離し、気流によって機外へ運ばれ、集じん機で捕集される。剥離のためには、ボール同士を効率的に衝突させることが重要である。そこで間接加熱型気流乾燥機（XB）ではボールの運動を径方向だけでなく、高さ方向にも運動させる機構を採用した。これによりボールは三次元循環運動し、強力な分散能力を発揮する。さらに装置内で原料が均一に分散できることから、乾燥むらを防止する効果もある。

基本的な乾燥設備は、本体のほか、熱風発生機、原料供給機、集じん機、ブロワで構成され、必要に応じてガス循環閉回路システムが採用される。

3-4　間接加熱型気流乾燥機（XB）の特長

1）スラリー、溶液原料の乾燥が可能

凝集体の一部を解砕しながら乾燥する。

2）強付着性、強粘着性原料の乾燥が可能

衝撃型の粉砕機よりも粉砕エネルギーの作用箇所が多く、かつせん断力が強いため、このような原料の処理が可能となった。

3）省エネルギーシステム

ガス循環閉回路システムでは、エネルギーコストが大幅に低減できる。

4）耐摩耗対策

各種セラミックス製の部品構成が可能である。

3-5　間接加熱型気流乾燥機（XB）のアプリケーション例

本機は間接加熱による乾燥機構を併用しているため、直接加熱型乾燥機と比較すると、品温が高くなる傾向がある。このため主に無機物の乾燥に用いられることが多い。ここでは大型機の納入事例を紹介する。

リン酸鉄リチウムはリチウムイオン電池の正極材料の一種であり、原材料費が安く、車載用などに採用が期待されている。湿式法で合成されたリン酸鉄リチウムは、導電性付与を目的とした焼成のために、予め乾燥する必要がある。今回納入した事例では乾燥すべき原料がスラリー状であり、乾燥による凝集をできる限り抑制することが望まれた。品質管理の観点からは、装置からの金属の混入を防止する必要があった。さらにスラリー原料にはエタノールが一部含まれており、条件によっては爆発が危惧される上、工場外への排出を抑制する必要がある。当然、製品水分値と処理能力の要求もあり、これら全ての要求を満たす装置とシステムが、間接加熱型気流乾燥機（XB）による乾燥システムであった。

金属の混入防止のためには、粉体との接触部をセラミックス製とした装置を採用することにより対応した。エタノール水溶液の乾燥には、加熱媒体を窒素ガスにするとともに、間接加熱型気流乾燥機（XB）から排出されたガスを冷却してエタノールを回収するシステムを採用することによって対応した。また窒素ガスの使用量低減およびプロセス外への排出を抑制するため、全体のフローを閉回路とした。さらに系内の酸素濃度を制限値以下とするため、窒素ガスの注入/排気を適宜実施した。

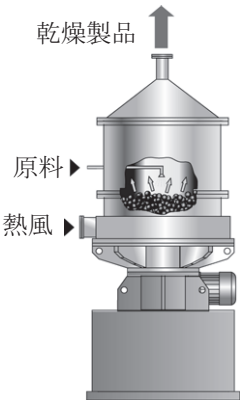

図-6　間接加熱型気流乾燥機（XB）の構造

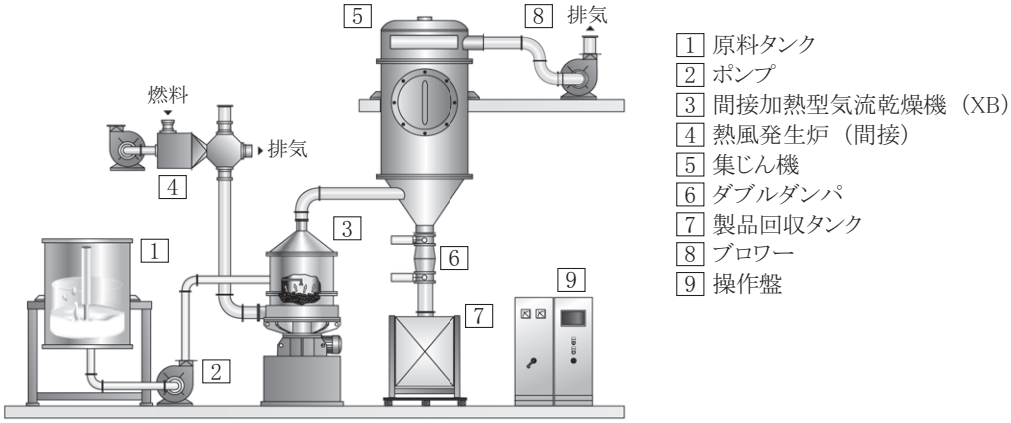

図-7　間接加熱型気流乾燥機（XB）の標準フロー

当社のテストセンターで乾燥実験して得られた粒子径分布と、お客様に納入されたXB－900システムにより得られた製品の粒子径分布を**図-8**に示す。どちらもスラリー原料と似た分布を持つが、XB－900ではシステムの最適化などによって、原料に非常に近い粒子径分布を持つ製品を作ることに成功した。さらに蒸発能力もスケールアップ比から推測される値よりも高く、360kg/hとなった。両者の運転条件などについては参考文献を参照願いたい。

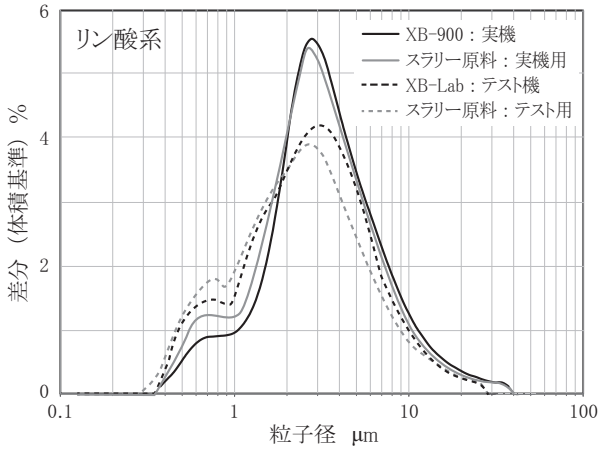

図-8　間接加熱型気流乾燥機（XB）によるスラリーの乾燥例

4. おわりに

本文で紹介した乾燥機は、いずれも粉砕技術と乾燥技術を融合させることで、今までになかった機能と性能を持たせたものである。このような装置によって環境問題への対応、新たな商品の開発など、お客様のさまざまなニーズに応えることができた。今後も技術開発によって新たな装置を提供し、さまざまなニーズに対して貢献していくことができれば幸いである。

参考文献

1）羽木孝輔：“媒体攪拌型気流乾燥機「ゼルビス」の大型機納入例紹介”、粉砕、**56**、pp. 59－62（2013）

井上（いのうえ） 義之（よしゆき）
ホソカワミクロン㈱
企画管理本部　企画統括部　係長

〒573－1132　大阪府枚方市招堤田近1－9
TEL：072－855－2704　FAX：072－855－2561
E-mail：yinoue@hmc.hosokawa.com

製造物責任について ―プラント事故の事例研究（その18-1）―

ジャパンクレームサービス　技術鑑定人　**森 勝則**

▶ 保険契約者：スプリンクラー設備業者
▶ 保険の種類：請負業者賠償責任保険
▶ 事故形態　2001年8月14日、ホテルの自動火災報知機が発報し、大宴会場の舞台正面右側のスプリンクラー1台が作動して放水した。事故直後にホテルの従業員が現場を確認したが、火災の事実はなく、スプリンクラーの誤作動による事故と判断されて、設備業者に損害賠償が請求された。

▶ 被災箇所のスプリンクラー設備　3階大宴会場の正面には舞台設備があり、その前面天井に6基のスポットライトがある。今回誤放水したスプリンクラーヘッドはスポットライトの斜め上30cm の位置にある。
当該スポットライトはファン付照明器具（500W）であり、ファンの送風方向の30cm 先にスプリンクラーヘッドがある。ヘッドのセンサーは分解して飛散したが、回収された破片には熱溶断の痕跡が認められた。

▶ 事故原因の調査
1）スプリンクラーヘッドの欠陥
埋込型ヘッドの感熱部は熱溶断して分解しており、正常に動作したものと判断した。
2）スポットライトの欠陥
スポットライトの電球は割れているが、電源部および配線にも異常はなく、異常点灯の可能性はなく、ホテルの従業員が1灯のみを点灯して、消し忘れたと思われる。
3）スプリンクラー工事の欠陥
当該設備は約10年前に新設されたが、その設置状況並びに新設工事に特段の不備はない。
4）点検整備の欠陥
当該設備は消防法により年2回の定期点検が義務付けられており、前回定期点検は2000年12月に実施された。当時の点検記録に異常はなく、消防署からの指摘事項もなかった。

▶ 事故原因　上記の如く検証した結果、当該事故はホテルの従業員がスポットライトを点灯したまま消し忘れたため、スポットライトの照射熱にセンサーが反応して放水したものと思われる。
ライトの消し忘れが直ちにスプリンクラーの誤放水とはならないが、スポットライトの取付位置がスプリンクラーヘッドに近接していたので、ホテル側設備の欠陥と判断した。

この記事に関するお問合せはワールドインシュアランスブローカーズ㈱へご連絡ください（P. 3広告参照）