

直接加熱型気流乾燥機 「ドライマイスタ」 DMR-H 型

川島 岳朗^{*}

1. はじめに

粉体の乾燥技術は化学・金属・食品・医薬などのさまざまな分野で必要とされる技術であり、当社の歴史においてもその需要の多さから直接加熱型乾燥機や間接加熱型乾燥機などの機器を開発してきた。しかし、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非常に大きい装置であり、乾燥は粉碎と同様、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¹⁾。

本稿では当社が開発・販売する、粉碎技術も応用した乾燥機として、直接加熱型乾燥機ドライマイスタ H 型 (DMR-H) について紹介する (図 1)。本装置は直接加熱型気流乾燥機の一つであるが、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. 直接加熱型気流乾燥機「ドライマイスタH」

2-1. 開発背景

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湿潤原料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。この問題を解決するためには熱交換を促進させるために比表面積を増加させる、

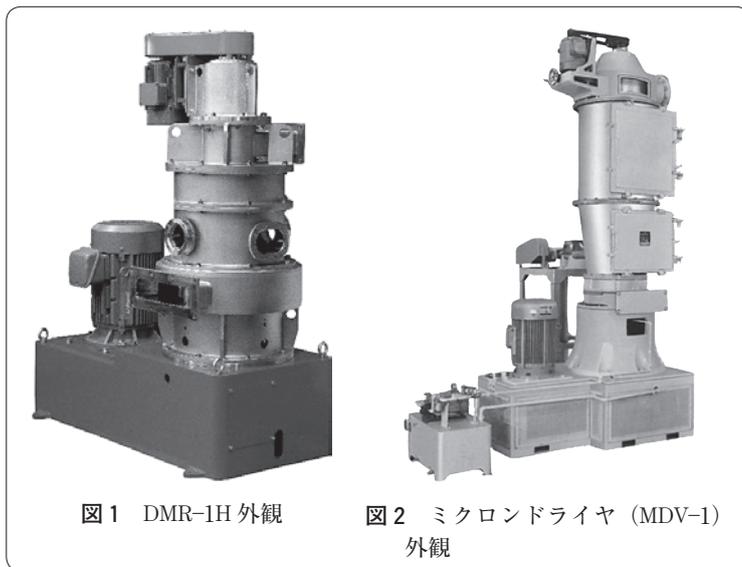


図 1 DMR-H 外観

図 2 ミクロンドライヤ (MDV-1) 外観

すなわち分散・粉碎操作を行う方法が有効となる。しかしケーキ状の湿潤原料は細かくしようとしても、乾燥工程中に凝集体を形成することや、機械に付着して運転できなくなる場合が多い。また分散機や粉碎機を乾燥機の前後工程に設置し、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. ミクロンドライヤからドライマイスタへ

当社は創業以来、粉碎機・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 年に粉碎機と乾燥機を一体化させた装置、「ミクロンドライヤ (MDV)」(図 2)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碎機に熱風を供給することにより、乾燥と粉碎の同時進行を可能とした。これによりケーキ状の湿潤原料を機械一台で粉体製品へ乾燥させることができるようになった。また強力な分散力により被乾燥物の比表面積を大きくすることによって熱交換を促進させることができるため、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。

^{*}KAWASHIMA Takeaki：ホソカワミクロン(株)粉体システム事業本部 技術統括部 大阪技術部 技術 1 課
〒573-1132 大阪府枚方市招提田近 1-9
TEL：072-855-2262 FAX：072-855-2647
E-mail：tkawashima@hmc.hosokawa.com



図3 ドライマイスタ (DMR-1) 外観

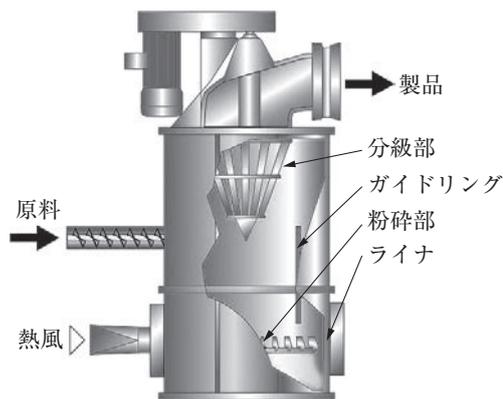


図4 DMR-Hの構造

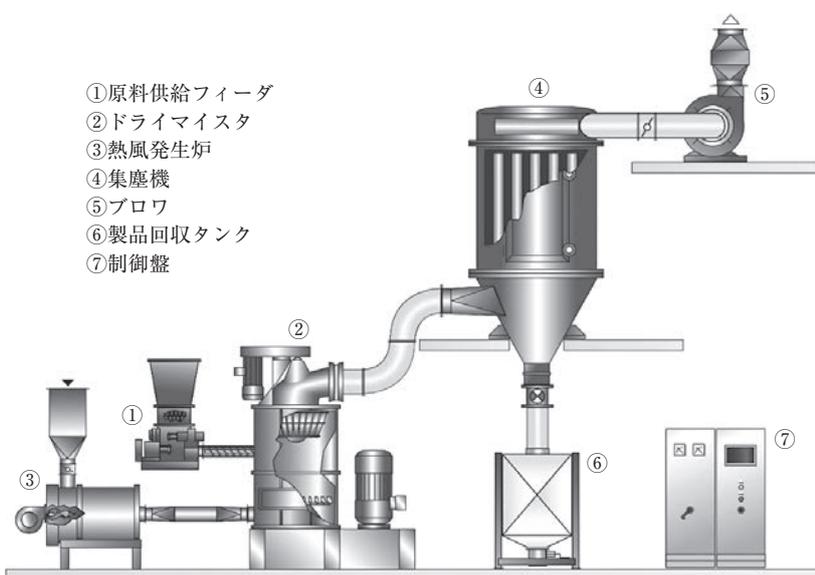


図5 DMR-Hの乾燥フロー

また粉碎機と同程度の粉碎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っている

しかしながら、それでも原料によっては付着の問題が解決しきれないものや、ある程度の粒子径までは分散できるものの、粉碎力の不足により後段で微粉碎工程が必要になる場合があった。そこで、MDVの問題点を解決するべく2000年に「ドライマイスタ (DMR)」が後継機として開発された(図3)。

DMRでは機内付着改善のため分散部のハンマ・ライナ形状が変更され、かつ粉碎力向上のためにハンマ周速を2倍に増加させる構造とした。さらに、全体構造の見直しにより機器の更なるコンパクト化にも成功した。これらの改良により原料の適用範囲は大きく広がり、後段の微粉碎工程も不要になる提案ができるようになった。MDVとDMRの累積販売実

績は全世界で510台を数える²⁾。

2-3. ドライマイスタH型

ドライマイスタはより多くの原料に適応すべく改良が加えられ、2013年に「ドライマイスタH (DMR-H)」としてリニューアルされ現在に至っている。H型では従来のドライマイスタと比較し、ライナ加熱構造をとることで付着をさらに軽減させ、ハンマ周速も20%上昇させることに成功した。また、機器入口の熱風上限温度を400℃から600℃とすることで原料処理能力を向上させた。

2-4. 原理構造

DMR-H型は縦型円筒状で、下部に分散部、中間部にフィード口、上部に遠心力を利用して粒子を選別する分級部を有する(図4)。フィード口から供給された原料は、分散部に落下し、ロータの回転によって分散・粉碎される。分散された原料は、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。乾燥粉碎された粒子は、気流によって上部に設けられた分級部へ運ばれる。微粉は、気流と共に分級羽根を通過して集塵機で

回収される。粗粉は、遠心力により分級機の外へ飛ばされ、再び本体下部の分散部へ落下し、分散・粉碎・乾燥される。製品粒子径は、分級回転数で決定され、製品水分値は乾燥機出口温度すなわち、入口熱風温度と原料の供給速度の調整によって制御される。

乾燥装置を構成する付帯設備は、熱風発生装置(ガスヒータ、オイルヒータ、スチームヒータ、電気ヒータ等)、原料供給機、集塵機、ブロワを基本とし、ドレンの回収が必要な場合は、コンデンサやスクラバーが追加される。DMR-Hの乾燥フローを図5に示す。ガス循環フローも可能であり、省エネルギー目的や排気ガスを極力系外へ放出したくない場合に適用される。

2-5. 仕様と特徴

ドライマイスタH型の標準仕様を表1に示す。

表1 ドライマイスタ H 型標準仕様一覧

型式	DMR-1H	DMR-2H	DMR-3H	DMR-4H	DMR-5H	DMR-6H
スケールアップファクタ [-]	1	2	4	8	16	24
概数寸法 全高 H [mm]	1750	2540	3080	3780	4490	5100
全長 W [mm]	1400	1770	2220	2710	3220	3850
全幅 D [mm]	830	1240	1460	1900	2540	2800
粉砕部動力 [kW]	11~22	22~45	45~90	90~200	132~280	160~355
分級部動力 [kW]	1.5~3.7	3.7~7.5	7.5~15	15~30	18.5~37	22~55
標準出口風量 [m ³ /min]	18~25	35~50	70~100	140~200	280~400	420~600
最高入口熱風温度 [℃]	600	600	600	600	600	600
水分蒸発量*) [kg/h]	200	400	800	1600	3200	4800
概略重量 [kg]	1000	2000	3300	8000	14500	25000

*) 入口 600℃, 出口 80℃のときの値。

また、代表的な特徴は以下の通りである。

①高い乾燥性能と少ない機内付着

分散ロータを高速回転させることにより、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くなる。併せてライナを直接加熱型構造としたためケーシング内壁への未乾燥原料の付着が発生しにくい。

②微粉乾燥製品が製造可能

強力な分散機構と高性能分級機構によって、乾燥・粉砕・分級が瞬時に行え、微粉乾燥製品の製造が可能となる。また、分散部は原料と製品粒子径に応じて変更が可能である。例えば、製品の粉化を抑えたい場合や、ハンマへの付着量を軽減させたい場合はピンハンマロータを使用する。

③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容易に乾燥品粒子径の調整が可能である。また、分級機構については目標の乾燥品粒子径や、原料の付着性に合わせて変更可能である。最も細かい乾燥品粒子径を得たい場合は当社の代表的な分級機の一つである「ミクロンセパレータ H」を搭載することができる。

④製品水分値の調整が容易

製品水分値は、分級機の回転速度による機内滞留量の影響を受けるものの、基本的には乾燥機出口温度によって決定される。この出口温度を一定に保つことで乾燥品の過乾燥も防ぐことができ、コストの削減にもつながる。

⑤装置のコンパクト化

高速分散によって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ている。MDV-1 と DMR-1H を比較しても高さ方向の寸法を大きく抑えるこ

とに成功した。大型機の場合は機体側面に大型点検扉を設置し、そこからハンマ交換を実施できるような構造にすることも可能である。

⑥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%の省エネルギーが可能である。また、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果が得られる。

⑦オプション対応

当社の粉砕技術の知見を活かし、処理能力の向上を目的としたガイドリングの搭載や、付着性の強い原料を処理するための事前乾粉投入構造へ対応、特殊湿粉フィーダ等の周辺機器との組み合わせが可能である。

3. 適用事例

ドライマイスタシリーズはこれまで幅広い分野の乾燥設備として納入された実績があり、その一部を表 2 に示す。

3-1. おからの乾燥

おからは豆腐や豆乳を製造する際に副産物として大量に生成される大豆の搾りかすであり、近年食品リサイクル法の施工により産業廃棄物扱いとなり簡単に処理できなくなった。そこで、食品・肥料・飼料等への再生し商品とすべく乾燥機が注目されるようになった。しかしながら、食品用として求められる項目として①色調・風味、②食感、③保存性の確保、④菌発生の抑制、があり、保存性の確保や菌発生の抑制に重点を置くと、製品水分値を数% WB 以下にまで乾燥させる必要があるため、従来の乾燥装置では長時間の加熱により焦げや風味の劣化が発生するなどの問題があった³⁾。

表2 ドライマイスタの適用事例

原料名	状態	原料水分 [% W.B]	乾燥品水分 [% W.B.]	乾燥品粒子径	熱風温度 [°C]	出口温度 [°C]
水酸化マグネシウム	ケーキ	30	0.3	$d_{50}=1\mu\text{m}$	600	150
	ケーキ	36	0.4	$d_{50}=15\mu\text{m}$	300	80
軽質炭酸カルシウム	ペースト	45	0.5	$d_{50}=8\mu\text{m}$	350	80
	スラリー	60	0.3	$d_{50}=28\mu\text{m}$	250	80
セルロース	ケーキ	60	1.4	~75 μm : 59 %	150	70
小麦粉	スラリー	60	4.0	$d_{50}=28\mu\text{m}$	160	80
色素	粘土	44	2.3	$d_{50}=3\mu\text{m}$	200	120
農薬	ケーキ	47	0.9	~75 μm : 98 %	200	80
顔料	粘土	52	0.8	$d_{50}=0.8\mu\text{m}$	200	100
染料	粘土	55	1.1	T.S.*)=100 μm	300	120
食品添加物	水溶液	60	0.7	T.S.*)=300 μm	180	120
合成洗剤	水溶液	60	4.3	T.S.*)=250 μm	200	100
金属酸化物	ケーキ	30	0.1	T.S.*)=8.5 μm	250	110
おから	ペースト	80	4.0	$d_{50}=50\mu\text{m}$	300	100
魚	頭付タラ	80	6.0	$d_{50}=100\mu\text{m}$	200	80

* T.S. : トップサイズ

これらを改善するために瞬間的な乾燥，強力な粉碎，高い乾燥性能，工程短縮などが必要であり，ドライマイスタH型はこれらの問題点を解決する機種として採用された実績を多数持つ。図6に従来の乾燥フローとドライマイスタH型を採用した場合の乾燥フローの比較を示す。また，食感を左右する粒子径の調整についても分級回転速度の変更により容易にコントロールできることも食品製品として高付加価値化させることにつながっている（図7）。

3-2. 結晶シリカの乾燥

LSIをはじめとする半導体集積回路は，通常，熱

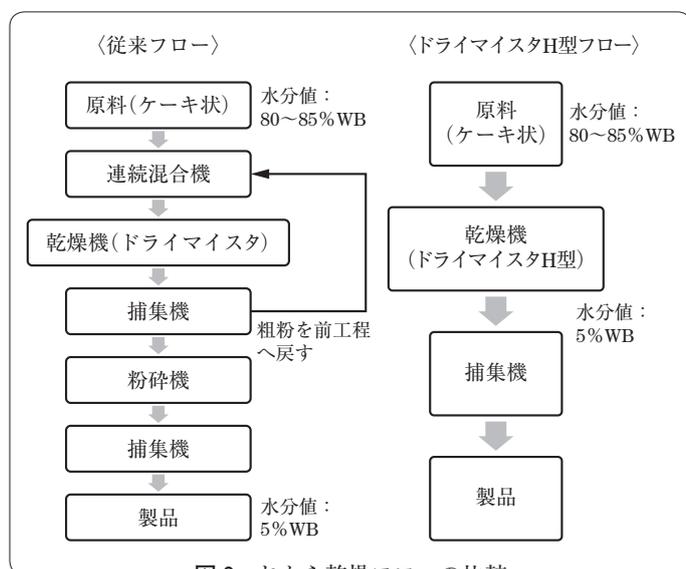


図6 おから乾燥フローの比較

膨張率の低減や紫外線などの光，温度，水，塵あるいは衝撃などからの保護を目的にパッケージされている。パッケージの材質には，エポキシ樹脂が広く用いられるが，フィラーとしてシリカなどの無機物微粒子が多量に含まれ，機能性を高めている。なかでも溶融シリカや鉱石として採掘された結晶シリカを粉碎して得られる破碎シリカは，パッケージの強度向上に役立つとされている。さらに，近年の半導体パッケージの軽薄短小化に伴い，より小さな粒子径のシリカが求められている。微粒子の作製には湿式粉碎を用いることが多く，その後工程でシリカ粒子を乾燥する必要

がある⁴⁾。しかしながら，微粒子であるがゆえに乾燥中に再凝集が発生してしまい，乾燥後の粉碎が必要になり，この粉碎工程での金属コンタミネーションの発生や白度の劣化が問題となるケースがあった。図8の粒子径測定結果に示すようにドライマイスタH型ではその分散性と乾燥効率が高いため原料の再凝集を抑えることができる。またこれにより図9のように乾燥フローも大幅に削減できる。さらに，それに伴い製品白度の向上も達成することができる。従来品とドライマイスタH型での乾燥品の白度比較写真を図10に示す。この写真では製品にキシレンを添加することによって，金属コンタミネーションが多く存在する場合，茶褐色や灰色になることを利用して，両者の差異を表している。

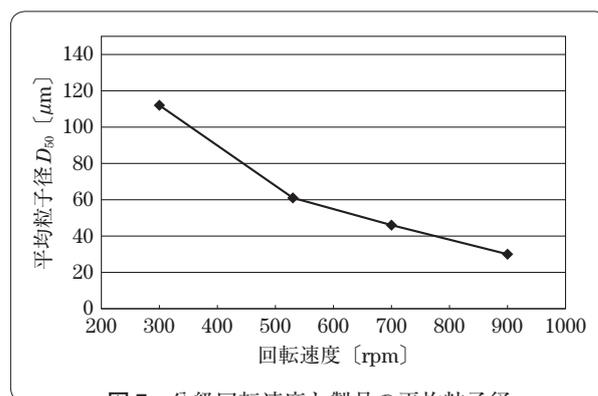


図7 分級回転速度と製品の平均粒子径

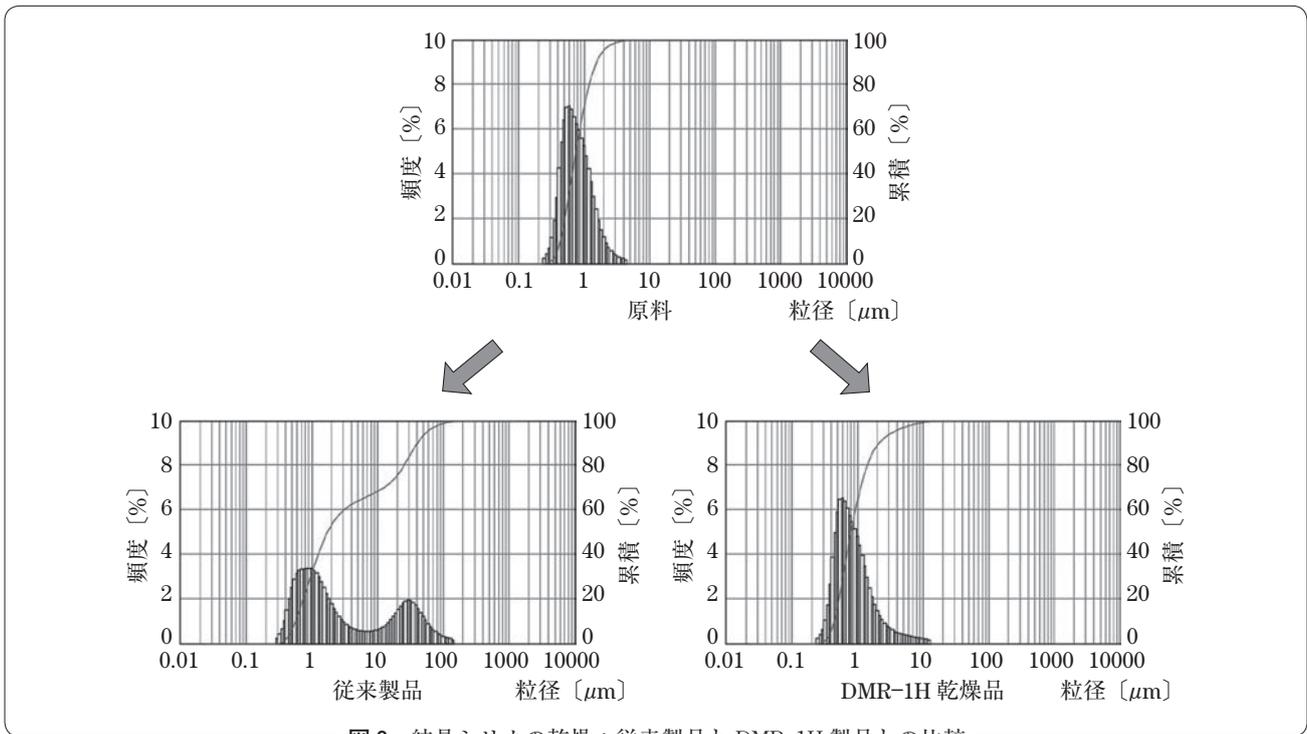


図8 結晶シリカの乾燥：従来製品とDMR-1H製品との比較

4. 今後の展開

ドライマイスタH型は当社の粉碎・分級技術の知見を活かすことで今までになかった機能と性能を持たせることに成功し、多くのニーズに対して貢献してきた。しかしながら、粉体乾燥技術に求められる精度や最終製品のスペック向上、環境への対応すなわち省エネルギー化への対応は日々高いレベルを求められるようになってきている。そのような需要に対応すべく、粉碎・分級性のさらなる向上、耐摩耗仕様の確立、分解洗浄性の向上などの技術開発を進めていく。そして、国内のみでなく海外へもさらなる拡販を進めていく。

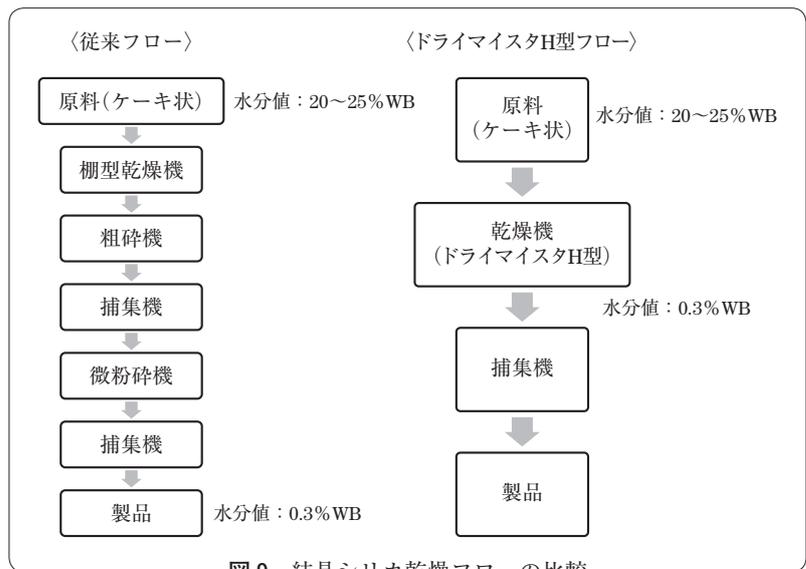


図9 結晶シリカ乾燥フローの比較

〈参考文献〉

- 1) 井上義之, 粉碎技術を応用したユニークな乾燥機, 粉体技術, 乾燥技術特集, p.45-46 (2014)
- 2) 東 充延, 直接加熱型気流式乾燥機, 産業機械, p.50 (2013)
- 3) ホソカワミクロン(株)編, ホソカワ製品ハンドブック, 2.6 食品, 凸版印刷(株), p.140-141 (2013)
- 4) ホソカワミクロン(株)編, ホソカワ製品ハンドブック, 2.2 IT, 凸版印刷(株), p.50-51 (2013)

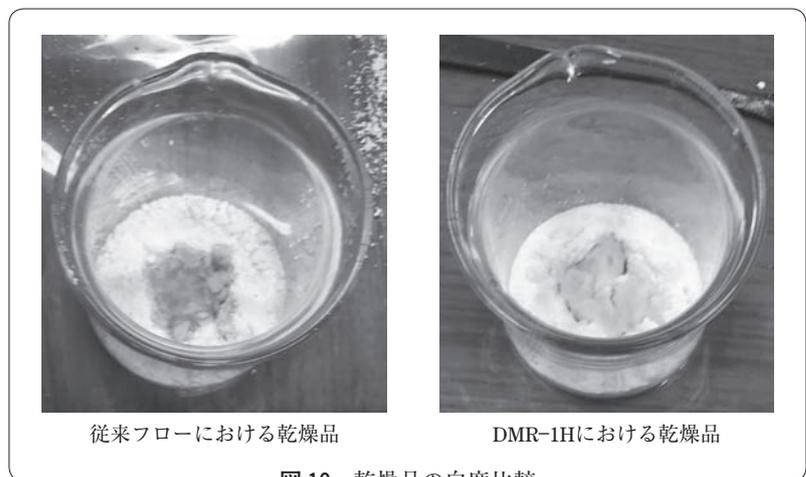


図10 乾燥品の白度比較