◆インタビュー◆

CNFなど新素材開発で活躍する超微粒摩砕機「スーパーマスコロイダー」

今，新素材開発で熱い視線を受けているものの一つにセルロースナノファイバー（CNF）がある。CNFは木材繊維（パルプ）を高度にナノオーダーまで微細化した最先端のバイオマス素材で，環境にやさしく，軽くて強いといった特徴的な特性から，自動車・航空機のナノ複合材部品をはじめエレクトロデバイス，食品，医薬，化粧品，衛生用品などへの利用が期待されている。今月は，このCNFの製造装置「スーパーマスコロイダー」を開発し，すでに世界40カ国に及ぶ国々に輸出し，高い評価を得ている増幸産業㈱の増田幸也氏に次期量産型のCNF製造装置開発の近況をお聞きした。

―編集部―

増幸産業㈱代表取締役社長
増田　幸也氏

写真1　スーパーマスコロイダーで処理されたCNF原料（超微粉体，ゲル状）およびCNF成形品見本

―最先端素材としての
CNFの有望性―

―最近，セルロースナノファイバーなどの新素材開発のニュースをよく耳にします。このCNF製造では，御社の「スーパーマスコロイダー」が国内はもとより世界各国の素材開発分野で多数使われているようですね。早くからCNF製造装置にチャレンジされ，実績を上げてこられた経験から，この新素材CNFの将来性，市場の広がりあたりからお話をお聞かせください。

増田　CNF関連では，ここ5年くらいの間に超微粒摩砕機を輸出した国が，半年ほど前の時点で36ヵ国になったと聞いています。その後もかなりの件数を受注しておりますので，現時点ではすでに40ヵ国は超えていると思います。ただ，そのほとんどはまだ研究用のテーブルタイプと小規模生産用の超微粒摩砕機「スーパーマスコロイダー」で，時間当たり1トンを超える大型の実用・生産機はそれほど多くはありません。

素材産業界は，その多くの企業がマスの世界ですので，その生産量はけた違いに大きいですね。これまで関係の深かった食品業界においては，「増幸さん，わが社ではこんな大きな機械は必要ありませんよ。最大でも時間当たり1トンの処理能力で十二分ですよ」と。それが素材産業では，わが社の最大の処理能力を持つ「MKB20-100J」（100馬力）でも，「……こんな玩具のような機械しかありませんか」「3千とか5千馬力のモーターがつけられないのですか？」といった話です。

実際の生産規模に合わせるには，わが社では最大の時間当たり1トンの処理能力を持つ機械を何十台も並べなくてはその量に追いつかないのが現状です。そのような意味では，規模的には非常に大きな市場になると思っていますが，そこまでの生産規模に機械が対応できるかどうかは今のところ“クエスチョン”です。

―CNFの市場は，2030年には1兆円を超える規模になると予測する人もいるようです。用途は飛行機や自動車などの新素材，高機能タイヤ，各種の複合材，食品，化粧品，オムツなどの衛生用品とさまざまな市場がみえています。それと何といっても，国土の70％が森林ですから，ある意味では日本も資源大国となりうるわけですね。そうなると，これに合わせたCNFを製造する側の量産技術が重要になってくると思います。最大の量産化技術問題など含めて，これからの課題である，機械の大型化，効率化，性能などについてお聞かせください。

増田　結局処理能力を上げようとすると，われわれの場合も，砥石の径を大きくするか，回転数を上げるか，この2つの方法しかありません。それには限度もあるし高額な設備投資が必要となります。これまではこのような物理的，機械的なところでの発想から装置開発を進めてきましたが，それを少しだけ変えて，砥石の径を大きくするばかりではなく，小さくてももっと効率を上げるとか，回転数を上げても壊れないそして摩砕効率の良い砥石を開発するといった方向を模索してきたわけです。

国の“もの作り補助金認定”を受け，小型のCNF製造機で高速回転機を試作し，今もテストを繰り返し行っています。お陰さまで従来機と比べると5～10倍の能力を出せそうな見通しがついております。今はテーブルタイプの小型機ですので，次年度は生産機としてより実証試験がしやすく，量産型に近いもう一つ上のタイプの機械を開発していこうと考えています。

—CNF 量産化における超微粒摩砕機への期待—

—CNF はナノのオーダーですから，機械的にと言いますか物理的に摩砕してナノのレベルまで持っていくには相当のエネルギーが必要で，まだまだ製造コスト的にも実用化までに至る道のりは険しいものもあるようです。しかし，大学の研究室や各研究機関では，例えば TEMPO 触媒酸化処理法やリン酸エステル化法，水熱メカノケミカル処理，酵素と湿式粉砕機を併用した方法などより実用化に向けた研究が進められています。そのような中で，平成 26 年の 3 月にトクラス㈱が出された「未利用バイオマス由来ナノファイバーと FRP 廃材を利用した複合材およびスモールバッチ生産システムの開発に関する実証試験」の報告書の「量産ベースでの実証」中に「スーパーマスコロイダー」を使った実験報告書が出ております。

私など素人判断ですが，その報告書を読むかぎりでは「スーパーマスコロイダー」は CNF の量産機としてかなり有望ではないかと思っておりますが，てごたえはいかがですか。

増田　そうですね。木材のセルロースを化学的に処理して，それを物理的に摩砕機などでナノ化することは非常に効率が上がります。しかし，化学的に処理したものと物理的に処理した CNF が機能的に同じレベルのものかどうか，また，化学物質を使うということで，環境に対して負荷がかからないかといったことなどこれからの研究課題もあるかと思います。

私どもでは，CNF を超微粒摩砕機だけで作るということに的を絞って研究開発を進めてきました。酵素を使ってナノ化する話などはずいぶん昔からあった技術です。

昨年経済産業省の方が「機械屋の立場から CNF の今後の見通し」について聞きに来られました。その時にも，正直，なんで今頃このような話を聞きに来られたのか不思議でした。30 年くらい前に散々この研究をやってきて，国際学会でも発表したこともありましたし，時期的に早すぎたのでしょうね。

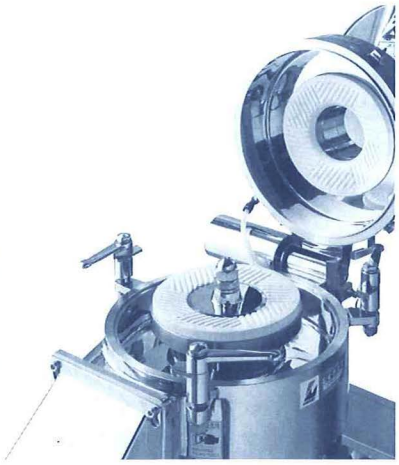

写真 2　夢の第四世代スーパーマスコロイダーⅣ外観および内部構造

—摩砕機の完成品といわれる「スーパーマスコロイダー」—

—スーパーマスコロイダーの原理や構造，性能など簡単にご説明いただけますか。

増田　カタログにもありますが，昨年開発して好評を得ています第四世代の「スーパーマスコロイダーⅣ」（**写真 2**）の心臓部になる内部構造と砥石の写真です。原理は基本的には以前のものと変わっておりません。安全性とか使い勝手の点ではかなり進歩しております。CE マーキング，KCS マーク，UL など世界基準に準拠した安全性に加え，使いやすさと機能性を徹底的に追及し「摩砕機の完成形」と評価されています。

構造的には，摩砕部分は，上部の固定砥石と下部の回転砥石（臼）で構成されています。砥石は，CNF などの用途に合わせて約 200 種類が用意されています。砥石の溝の形状や材質など最適なものが選定できます。また，軸受け機構は，グリス注入式，オイル循環式，オイルミスト式の 3 つのタイプがあります。さらにわが社の多機能ミルαシリーズにも対応しているので，グラインダー，カッター，ミル，ハンマー，チョッパーなど 14 種類のコアパーツが装着できます。

先ず上部から投入された原料は遠心力によって溝で押しつけられ，徐々に粉砕されながら出口に近い“フラット面”で最終的なすり潰しが行われます。このフラット面の円周部がこの機械の命です。

写真中央のクリアランス調整ハンドルを操作することで粒度調整します。もちろんコンピュータで制御するフルオートの調節装置もあります。これによってクリアランスを設定し，希望する粒径の超微粉砕（摩砕）を行います。連続式ですから上部の供給口から原料を入れればナノ化された CNF が連続してゲル状で出てきます。

—今後のスーパーマスコロイダーの技術開発についてお聞かせ下さい。

増田　少し余談になりますが，去年の春先にヨーロッパ最大の古紙処理・リサイクル企業の研究所長さんはじめ何人かがお見えになりました。その時に「もっと大きな機械を作れ

ないですか。費用はすべて負担し，買い取りますから他社には売らないでほしい」といったお話がありました。どうしても処理量が問題なんです。

大型化に向けてのステップですが，先ほど話したように，テーブルタイプでの高効率化，高速回転の摩砕機という意味ではほぼ完成していて，そのテストは今も繰り返し行っています。結果からいえば，うまくすればその10倍くらい，少なくても5倍くらいの性能アップはできそうです。ただ我々が目指しているのは20～30倍の能力アップですのでまだまだほど遠い状態です。ただ，原理原則から言って，結局石臼ですり潰す作業ですから面積，周速その兼ね合いで当然その限界が出てきます。その限界がどこなのかというのを，砥石の大きさ，溝の形状，材質や供給方法を変えたりしながら最適なものを模索するわけですから，相応の時間を要することになります。

ただ，現在，5～10倍の性能アップは見えてきましたから，この4月からは高速の実用型の小型生産機に取り組んでいく予定です。来年から再来年にかけては，次のステップの大型機レベルの高速・高効率化まで持っていこうと計画しています。

写真3　マスコロイダーの心臓部でもある摩砕用砥石（グラインダー）。約200種類から用途に合わせて最適選定ができる。

先にもお話ししましたが，現在わが社で一番大きな機械は，CNFを1時間当たりで1トンくらい生産できるものがあります。しかし，素材メーカーのお客さんの要望は，最低でも時間当たり30～40トンは作りたいと言われます。そのようなことで，高速・高効率装置の開発に向けて鋭意研究開発を行っているところです。

―大量生産システムへの挑戦―

―大量生産に向けては，マスコロイダーを何台も並べてシステムを組むとか，中・細・微・超微粉砕と直列に効率よく粉砕機を並べるとか，「スーパーマスコロイダー」を核にいろいろな生産形態が考えられると思いますが……。

増田　大量生産に向けての検討課題として，確かにそれら生産システムの研究開発も現場から挙がっております。機械的にセルロースのナノ化を行うというのはいきなりナノまで細かくしていくというのではなくて，順を追って粗粉砕，中粉砕，微粉砕といった形でナノ化をするわけですから，ボトルネックは最終の超微（ナノ）粉砕の段階です。前段の粗粉砕や中粉砕ではその機械的能力は余っているわけです。1段目の粗粉砕では機械は1台でよく，2段目では2台，微粉砕では3台が必要といった具合に，生産量に合わせた組み合わせはできております。なにはともあれ最終のナノ化の段階の能力レベルアップをいかに進めるかに尽きると思います。

写真4の超精密カッティングを可能にした超高速回転の精密粉砕機「ミクロマイスター」などの関連機も大量生産システムに欠かせないものの一つです。

―スーパーマスコロイダーの心臓部は“臼”砥石だと思っております。昔，先代の社長から「臼はノウハウの塊です」といった話をお聞きした記憶があります。この辺の研究の状況はいかがですか。

増田　工業用砥石には“周速に限界”があり，ある周速を超えてしまうと割れてしまう宿命を背負っています。それを如何に割れにくくするか。その技術開発には終わりはありません。

―石臼を作る上でのノウハウになるのでしょうが，材質や溝の切り方，バインダーなどについて可能な範囲でお聞かせ下さい。

増田　そうですね，先ほどお話ししたように，長年積み重ねてきた技術ノウハウを生かして，現在約200種類の石臼を用意しています。石臼の最適選定は，ある程度の経験から「これならいけると読んで」選んでいきますが，矢張り最終的には試行錯誤の繰り返しで，いちばんいい効率で粉砕できるところを見つけていくやり方です。そのためにテスト場を完備し，いろいろな業界のお客様に提供しています。

最近は，CNFやリチウムイオン電池等々新素材を持ちこまれてテストをされるお客さんが多いですね。1日に何軒も重なる状態です。

―「スーパーマスコロイダー」の年間の受注は何台くらいになりますか。それと，以前は食品関係が多かったように記憶していますが，新素材関連，CNFでの利用状況など，その動きはいかがですか。

増田　「スーパーマスコロイダー」も大型の生産用から研究用のものまで多数ありますが，平均して年間約200台位の受注でしょうか。この機械は，昔から食品製造系での利用が多かったですね。多い時で7割，少ないときでも6割といった状況でした。それがここにきて食品向けの出荷台数は以前と同じすが，CNFな

ど新素材分野が急速に伸びてきて，その比率は，ずいぶん高くなっています。今では食品関連は6割を切っていると思います。新しいCNFなど素材分野での利用が急に多くなってきました。

―多くの産業分野で期待される新素材CNFの魅力―

―CNFの研究開発が，非常な勢いで進められておりますが，この分野でのトピックス的なお話があればお聞かせいただきたいのですが。

増田　先日のTVで放映されていましたタイヤへの応用など面白いですね。カラフルなタイヤなど非常に興味を持ちました。

車では，トヨタの4輪駆動のタイヤカバーにCNFを30％入れた製品が紹介されています。画期的なものではありませんが，環境を意識した製品としてアピールした例でしょう。

また，サランラップのようなCNF透明シートや液ダレしないボールペンのインク，消臭紙おむつへの利用や曲がる有機ディスプレイなどCNF利用の可能性は広がるばかりです。

―製紙メーカーでは，CNFの表面に金属イオン，金属ナノ粒子を高密度に付着できることから紙おむつなど衛生用品にCNFを使って消臭効果の高い製品を開発されているようですね。それとこの分野では，その生産拠点が国内回帰しているとのニュースもあり，将来的には有望な市場となりそうですね。

TVの取材で，鳥取大学だったと思いますが，カニの甲羅からキチンナノファイバーを抽出するのに「スーパーマスコロイダー」が使われていました。

増田　そうです。鳥取大学様は「スーパーマスコロイダー」を使っていただいております。以前より，手術用の糸や人工皮膚にも使われていました。最近ではダイエット食の添加剤としても有望です。

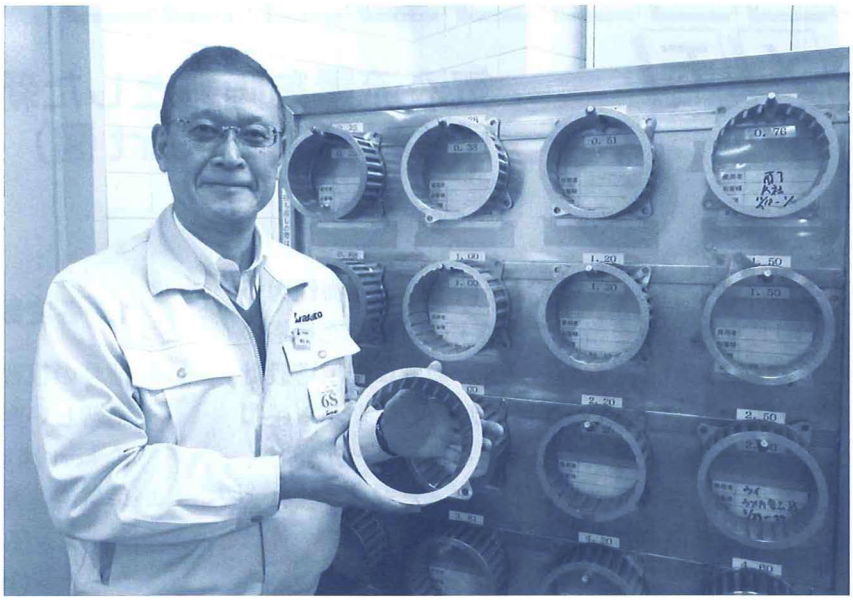

写真4　超高速回転(6,000～1,200 rpm)を可能にした超精密粉砕機ミクロマイスター用の各種カッティングヘッド。

それと，それはリーマンショック直前にアメリカの某製紙会社から「スーパーマスコロイダーを20台ほど発注するから……」といった話がありました。砥石の供給保証なども詰めて，もう注文書が届くだろうと思っておりましたら，リーマンショックで結果的にはポシャッテしまいました。こちらは段ボールの紙のメーカーでした。段ボール表面にゲル状のCNFを塗布することで，厚さを3割ほど減らせるという内容で，わが社としても大いに期待していたので残念でした。

われわれのように食品業界でのノウハウしかもっていない企業が，そのようなマスの世界に入っていくのはやはり大変です。いずれはやっていかなくてはいけない業界でしょうから前向きに考えています。

一方，医薬品業界などでは，耳かき一杯の原料を超微粉砕してくれないかといった要望もあるわけです。「最低でも1キロくらいの原料を送っていただかないと」というと，「原料代だけで3億円にもなります……」といった世界です。「耳かき一杯でテストができる装置があるなら，いくら高くても買いますよ」と云われます。

このような両極端な要求にどう応えていくか，非常に難しい宿題を負っております。

―最後に海外のCNFの研究開発の動きについて。

増田　海外の動きは素早いですね。CNFは全体的に日本に比べると少し先を行っているのではないでしょうか。いいと思うとすぐ研究して，これでいけるとなると実生産に移るという具合です。そのスピードは日本と異なっているようです。かなりの規模の投資に躊躇なく踏み切る企業も多いと聞きます。とにかくアクションが速いです。わが社の「スーパーマスコロイダー」への反応も速いです。

―お忙しい中，長時間ありがとうございました。