

Part1 構造用材料としてのCNFの現状と将来

解説

セルロースナノファイバーの安全性について

(国研)産業技術総合研究所
 Fujita Katsuhide 藤田 克英*2、
 Gamo Masashi 蒲生 昌志*4、
 Ogura Isamu 小倉 勇*1、
 Oguri Tomoko 小栗 朋子*3、
 Kajihara Hideo 梶原 秀夫*5

*1 安全科学研究部門 排出暴露解析グループ 主任研究員
 〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1
 ☎029-861-8907
 *2 同 リスク評価戦略グループ 主任研究員
 *3 同 環境暴露モデリンググループ 主任研究員
 *4 同 総括研究主幹
 *5 同 環境暴露モデリンググループ グループ長

● はじめに

セルロースナノファイバー (CNF) は、高機械的強度、低熱膨張率、ガスバリア性、透明性、増粘性、チキソ性などの性質を持ち、高強度材料や高機能材料、各種添加剤として、さまざまな用途への応用が期待されている。一方、新しい材料が社会で使われていくためには、安全性を確認することが重要である。実際には有害性が低いとしても、情報がなく、風評被害が起きたり、他の材料との競争で不利になったりする可能性がある。米国やカナダがセルロースナノクリスタル (CNC) の安全性評価のデータを積極的に公表しているのに対し、日本が得意とするCNFの安全性情報は少ないのが現状である^{1), 2)}。

そのような背景のもと、(国研)産業技術総合研

究所、王子ホールディングス(株)、第一工業製薬(株)、大王製紙(株)、日本製紙(株)は、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託事業「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発/CNF安全性評価手法の開発(2017～2019年度)」において、CNFの安全性評価手法の開発を行った。そして、開発した評価手法や評価事例をとりまとめて、「セルロースナノファイバーの検出・定量の事例集」³⁾、「セルロースナノファイバーの有害性試験手順書」⁴⁾、「セルロースナノファイバー及びその応用製品の排出・暴露評価事例集」⁵⁾を(国研)産業技術総合研究所のWEBから無償公開した(図1)。本稿では、それらのNEDO委託事業の成果を中心に、その他既存の報告の情報も加えて、CNFの安全性について述べる。



図1 CNFの安全性評価に関する手順書・事例集^{3), 4), 5)}

● CNFの人体への影響

経口曝露に関しては、限られたデータではあるが、実験動物を用いた急性毒性試験によりCNFやCNCの有害性は低いことが報告されている^{6)・7)}。繊維径が数十nm～数 μm であるマイクロファイブリル化セルロースがすでに食品添加物として使われていること、バクテリアによって作られた繊維径が数十nmのセルロース繊維であるナタデココが食品となっていること、市販の野菜スムージーには粉碎によってナノサイズになったセルロース繊維が含まれていること⁸⁾など、現状において、我々はナノサイズ(100 nm以下)のセルロース繊維を摂取していると考えられる。しかしながら、これまでにないものとして、化学処理により数nmまでに解繊したCNFについては、よりていねいな検証が必要と考えられる。

経皮曝露に関して、NEDO委託事業で実施した三次元培養皮膚モデルによる皮膚透過性試験では、CNFは皮膚を透過せず、角質層に留まる可能性が高いことが示唆された⁴⁾。一般に、皮膚浸透・透過性の限界は、分子量500といわれており⁹⁾、グルコースが3つ連なったセロトリオースの分子量が約500であることから、グルコースがさらに連なった高分子であるCNFが健常皮膚の角質層を経由して透過する可能性は低いと考えられる。

吸入曝露に関しては、慢性影響に関する十分なデータはまだないが、CNFやCNCの動物への短期の吸入試験において見られた炎症は、一般のセルロースや低毒性粉塵と同様に一過性であり、アスベストやカーボンナノチューブとは異なることが報告されている²⁾。NEDO委託事業で作業者の安全衛生管理などを対象に実施したラット気管内投与試験においても、CNF(TEMPO酸化CNF、リン酸エステル化CNF、機械解繊CNF)の炎症反応は、経日的に減衰することが確認された⁴⁾。

遺伝毒性に関しては、NEDO委託事業で実施した遺伝毒性組み合わせ試験において、対象としたすべてのCNF(TEMPO酸化CNF、リン酸エステル化CNF、機械解繊CNF)は、遺伝子突然変異誘発性、染色体異常誘発性、小核誘発性が認められなかった⁴⁾。



図2 CNFの移し替え試験の概要と飛散粒子の形態⁵⁾
飛散粒子の写真中の黒い丸はフィルターの穴である。

● CNF粉体の排出・暴露

一般に、化学物質の安全性を考える上では、有害性だけでなく、排出・暴露量を評価することが重要になる。たとえ有害性が高い物質でも、排出・暴露量が少なければ、リスクは小さくなる。また、排出・暴露は管理や対応によって減らすことができる。

CNFやCNCなどのナノセルロース応用製品のライフサイクルにおける暴露シナリオ評価では、リスクが高いシナリオとして、乾燥したナノセルロースの吸入曝露が挙げられている¹⁰⁾。NEDO委託事業では、CNF乾燥粉体の飛散性を評価するために、乾燥粉体の移し替え模擬試験を行った(図2)⁵⁾。清浄空気を導入したグローブボックス内で、約100 cm³の機械解繊CNFの乾燥粉体を用いて、落下[容器(小)→容器(大)]と注ぎ込み[容器(大)→容器(小)]による移し替えを繰り返した。エアロゾル計測器によるモニタリングでは、CNFの移し替えの瞬間にCNFの飛散が起ることが確認された。飛散したCNFはおよそ0.1～10 μm の大きさの凝集粒子であった。CNFの乾燥粉体を取り扱う際には、飛散したCNFの吸入を防ぐために、局所排気や保護具の使用などが推奨される。