

### 3. ナノ粒子（超微粒子）の作製法

ナノ粒子研究の歴史をひも解くと、1961年に久保亮五がいわゆる久保効果を発表したことにたどりつく。物質が微細化されるとその構成原子数が少なくなることにより、電子のエネルギー準位が離散的になり、特に低温で微細粒子特有の物性を呈するとしたものであった。1949年に上田良二、紀本和男はガス中蒸発法による金属超微粒子の作製に関して研究を行っていた。彼らは久保理論を契機に、超微粒子化による新物性の発現の可能性が指摘されたことを受けて、微細粒子である超微粒子の物性研究を本格的にスタートさせた。最初の研究は電子顕微鏡によるその結晶学の研究（1963年）であった。そして、それは名古屋大学グループの「超微粒子の結晶学」研究へと繋がり、60年代の後半頃から日本における超微粒子（現在はナノ粒子と云う）の電子物性の研究が開始されたのであった。すなわち1965年にナノ粒子の磁性研究が田崎明らによって行われ、同時期に、物性研究のための超微粒子作製方法が数多く提案され研究開発された。1969年に和田伸彦はプラズマジェット加熱法を開発し、グラムオーダーの作製量が可能となった。

また1973年（八谷繁樹ら）、1974年（春日部進ら）には、抵抗加熱式ガス中蒸発法の蒸発源近傍のナノ粒子の形態を電子顕微鏡で詳しく調べた研究がある。ここでは蒸発源近傍で微細な超微粒子がガス分子により凝縮成長する様子が明らかにされた。一方、海外では、1976年にはC. G. Granqvist and R. A. Buhrmanが行なった研究がある。10種類以上の金属ナノ粒子生成についての研究で、ガス中蒸発法を用いてその作製条件と粒子径の関係を示すと共に、粒子成長モデルを検討し、粒子径分布が対数正規分布（log-normal distribution）であることを提唱した。この成果により粒子成長のメカニズムが明瞭となり、シャープな粒子径分布を持つ超微粒子の製造管理に役立つものとなった。

ナノ粒子の作製方法として、化学的手法と物理的手法があり、物理的作製手法ではガス中蒸発法が研究開発され、この方法の加熱法として、(1)抵抗加熱、(2)高周波誘導加熱、(3)レーザー加熱、(4)アーク加熱、(5)その他プラズマジェット加熱、電子ビーム加熱、スパッタリング法、アークプラズマスパッタリング法、流動油面上真空蒸発（VEROS）法、通電加熱法、ハイブリッドプラズマ加熱法などが開発された。

文献)

- 1 R. Kubo, J. Phys. Soc. Jap., 17 (1962) 975-986.
- 2 上田良二, 紀本和男, 応用物理, 18 (1949) 76.
- 3 K. Kimoto, Y. Kamiya, M. Nonoyama and R. Uyeda, J. J. Appl. Phys., 2 (1963) 702.
- 4 A. Tasaki, S. Tomiyama, S. Iida and R. Uyeda, J. J. Appl. Phys., 4 (1965) 707.
- 5 S. Yatsuya, S. Kasukabe and R. Uyeda, J. J. Appl. Phys., 12 (1973) 1675-1684.
- 6 S. Kasukabe, S. Yatsuya and R. Uyeda, J. J. Appl. Phys., 13 (1974) 1714-1721.
- 7 C. G. Granqvist and R. A. Buhrman, J. Appl. Phys., 47 (1976) 2200-2219.
- 8 S. Yatsuya, Y. Tsukasaki, K. Mihama and R. Uyeda, J. Cryst. Growth, 45 (1978) 490-494.

- 9 M. Shiojiri, C. Kaito and K. Fujita, *J. Cryst. Growth*, 52 (1981) 168-172.
- 10 林主税, *応用物理*, 50 (1981) 178.
- 11 K. Otsuka, H. Yamamoto and A. Yoshizawa, *Nippon Kagaku Kaishi*, 1984 (1984) 869.
- 12 小田正明, 学位論文, 名古屋大学 (1986).
- 13 I. Nakatani, T. Furubayashi, T. Takahashi and H. Hanaoka, *J. Magnetism and Magnetic Materials*, 65 (1987) 261-264.
- 14 M. Haruta, T. Kobayashi, H. Sano and N. Yamada, *Chem. Lett.*, 16 (1987)405.
- 15 八谷繁樹, 赤穂博司, *固体物理*, 12(1977)231.
- 16 鎌倉孝信, 山内健治, 八谷繁樹, 美浜和弘, *日本結晶成長学会誌*, 12(3), 244, 1985-07-05
- 17 S. Iwama, K. Hayakawa and T. Arizami, *J. Crystal Growth*, 56(1982)265.
- 18 H. Oya, T. Ichihashi and N. Wada, *J. J. Appl. Phys.*, 21(1982)554.
- 19 平山司, 創造科学技術推進事業林超微粒子プロジェクト研究報告, 新技術開発事業団(1986)22.
- 20 宇田雅広, *日本金属学会報*, 22(1983)412.
- 21 和田伸彦, "固体物理別冊特集号超微粒子", *アグネ技術センター*, (1984)85.
- 22 上田良二, 熊沢峰夫, 加藤 学, 和田伸彦, 松田守弘, *豊田研究報告*, 26(1973)66.
- 23 松縄 朗, 片山聖二, *日本金属学会昭和 60 年度秋季大会講演概要*, (1985)286.
- 24 吉田豊信, "日本の科学と技術, 特集超微粒子", *日本科学技術振興財団*, 25, 227(1984)35.
- 25 安藤義則, *真空*, 23(1980)319.
- 26 N. Wada, *J. J. Appl. Phys.*, 8(1969)551-558.
- 27 和田伸彦, *金属*, 48(1978)50.
- 28 S. Kashu, M. Nagase, C. Hayashi, R. Uyeda, N. Wada and A. Tasaki, *Proceed. 6th Intern. Vacuum cong.*, (1974)491.
- 29 吉田岳人, 小澤英一, 志村洋文, "レーザープロセスによる超微粒子の作製技術", *レーザー研究*, 27 (1999) 670-675.
- 30 Y. Kawakami, T. Seto and E. Ozawa, "Characteristics of ultrafine tungsten particles produced by Nd:YAG laser irradiation", *Appl. Phys.*, A69 (1999) S249-S252.
- 31 吉武務, 糟屋大介, 蒔丈史, "新製品・新技術紹介 CO2 レーザアブレーション法を用いたカーボンナノホーンの生産技術開発", *レーザ加工学会誌* 10 (2003) 208-210.