



## 軽金属, 「私の一枚」シリーズより Butterfly Fringe ~世界で最も美しい蝶~\*

岩村 信吾\*\*

### Ashby -Brown Contrast, the Most Beautiful Butterfly\*

Shingo Iwamura\*\*

#### 1. 私の一枚

まず、何も言わずに私が撮影したTEM写真 (Fig. 1) を見て頂きたい。非常に特徴的なTEM像である。この像は、人によって呼び名が異なる。Ashby-Brown contrastあるいはcoffee-bean fringeと呼ぶ人が多いようだが、私はbutterfly fringeという呼び名が美しく好きだ。確かに蝶のようにも見える。

このコントラストは、母相と整合な球状粒子をBragg条件で観察した時に現れるものである。理屈は明快だ。明視野像は透過波による像であるから、母相の歪場の影響を受けて振幅する。このとき、二波励起によるBragg条件下では、励起した面の法線方向のみの歪が像に影響を及ぼすことになる。ここで、粒子が整合で球状である場合、粒子の中心を通る面上では、励起した面の法線方向には歪成分が存在しない。したがって、透過波は歪の影響を受けることなく進み、粒子の中心線上にno contrast lineが現れる。これがbutterfly fringeの正体だ。

定性的には理解し易い。だが、動的回折理論によってこのコントラストを定量的に説明したAshbyとBrownの論文<sup>1)</sup>は実に見事であった。当時学生だった私はこの論文を徹底的に読み込んだ。文献コピーの1冊目は読みすぎて破れてしまった。2冊目は未だ私の手元にあるが、これまた読みすぎて、めくる部分が手汗で変色している生々しさである。

#### 2. 蝶の捕獲方法

さて、それではいよいよ、この蝶の捕獲方法を解説

しよう。アルミニウム合金でこのコントラストを観察する場合、Al-Sc系合金におけるAl<sub>3</sub>Sc粒子を用いるのがベストな選択であろう。溶体化処理したAl-Sc合金を400℃程度で熱処理すると、20 nm前後の球状整合Al<sub>3</sub>Sc粒子が析出する。まさにbutterfly fringeを観察するために生まれてきたような粒子だ。これで状況は整った。

次は試料作製である。観察用サンプルはツイングジェット電解研磨法で作る。電解液には、ドライアイスで-10℃まで冷やして硝酸とメタノールの混合溶液を用いる。最近の市販のツイングジェット電解研磨装置は、穴が空くと後方のライトの光を検出して自動的に電流が止まるようになっている便利なものだ。だが、私は手製の電解研磨機をお勧めする。後方から懐中電灯でサンプルを照らし、その逆光の中、電解研磨中のサンプルを拡大鏡で覗き続けるのだ。時々、スポイトで試料表面の気泡を除去することを忘れてはならない。じっと待ち続けると、試料に穴が空いて後方のライトの光が見える。気を抜いてはならない。いつ穴が空くかは誰にも分からないのだ。いざ穴が空いて光が見えても、ここで慌てて電流を止めるのは良くない。まず何よりもジェットの水流を止めることだ。そして、一呼吸おいて少し穴を広げてから、電流を止める。これが達人の技である。これで、より観察視野が広くひずみが無い美しいTEM試料が完成する。既製の装置では、ここまで細やかな試料作製はできない。愛情をこめて作成したサンプルは、必ずや我々の期待に応えてくれるであろう。

いよいよ観察である。このコントラストを写すのにおいて重要なのは高輝度の電子銃でも高加速電圧でも

\* 本稿は、「軽金属」(65 (4) (2015), 381)の「私の1枚」シリーズに掲載されたものを改訂。

Revision of "My one shot" series of Journal of The Japan Institute of Light Metals, 65 (2015), 381.

\*\* (株)UACJ 技術開発研究所 第一研究部

No. 1 Research Department, Research & Development Division, UACJ Corporation

## 参考文献

- 1) M. F. Ashby and L. M. Brown: Philos. Mag., 8, (1963), 1083-1103.



岩村 信吾 (Shingo Iwamura)  
(株)UACJ 技術開発研究所 第一研究部

ない。観察の腕である。軸調整は抜かりなく細心の注意を払って行うことは言うまでもない。Bragg条件で明視野像を撮影すると、スクリーンに蝶が現れる。だが、騙されてはいけない。それは最も美しい姿ではない。もっと慎重に条件を選ぼう。そうだ。励起する面は(220)がいい。(200)だと消衰距離が短いので蝶の羽が短くなる。(220)よりの高次の面だと羽が長くなりすぎて下品だ。やはり(220)が最高だ。励起条件はどうだろう。一般的には、明視野像を撮る際は、励起誤差を若干プラスにすると見やすい写真になると言われている。だが、それは単に二波励起からずらして細部をごまかしているに過ぎない。私は断固、just Bragg条件しか認めない。励起誤差は全身全霊でゼロに合わせたい。次に撮影する視野の選択だ。試料は薄いほうが非弾性散乱が少なくクリアな像になるが、球状の歪場が全て収まりきらない薄さはダメだ。少なくとも粒子サイズの5倍以上の厚さが欲しい。観察箇所の厚さは等厚干渉縞を用いて決定する。もちろん膜厚は消衰距離の整数倍の位置を選ぶ。粒子の位置も重要だ。薄膜の表層近傍にある粒子からは、左右非対称な異常像が現れるので美しくない。薄膜試料のまさに中心にある粒子からは、完璧なbutterfly fringeが得られる。これこそが本命だ。さあ、いよいよ撮影だ。露出を合わせる。ちょっと待って。記録はCCD？、フィルム？、いや、ここはひと手間かけて、画質、黒化度の線形性および広いダイナミックレンジを兼ね備えたイメージングプレートを採用したい。このような工夫を重ねて、ようやく、ようやく、ようやく、このコントラストを完璧に捉えることができるのだ。

もう一度、Fig.1を見て頂きたい。世界で最も美しい蝶はここにいる。これが私の卒業論文であった。

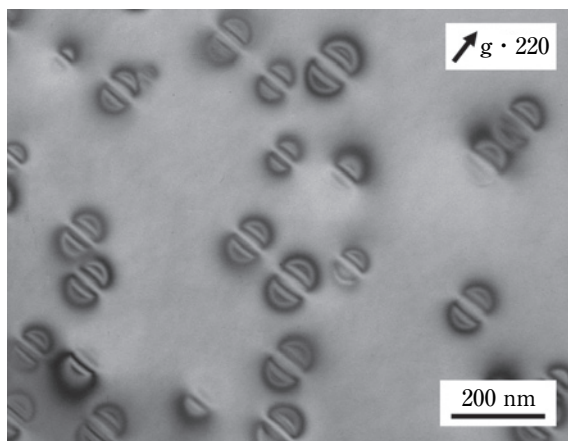


Fig. 1 Butterfly fringe.