

## Planned Happenstance（プランド ハプンスタンス）随想 [第3話] カーケンドール博士とキャリアチェンジ

藤平正氣（昭和44年応化卒業）

### はじめに

“キャリア（Career）”という言葉は、一般的な会話では狭義で認識されるが、極めて多様な概念を有し、広義で理解されるようになってきた。“人生いろいろ、人それぞれ”や“個性と文化に優劣無し”を受容し、さらには尊重する個人、家庭や社会の新たな“キャリアマインド（Career Mind）”の浸透が背景にある、と感じてきた。

一方で人々は、歴史的・社会的な都合により、その対極のような既成概念的キャリアに縛られ、あるいは大きな役割・仕事を特定の“できる人 and 選ばれた人”に未だに期待している。

今回の[第3話]は、筆者の現役時代での体験、研究開発/市場開拓/テクニカルサービス/生産技術/製造/技術移転/品質保証/技術調査や人事/人材開発関連の職域、工場/研究所/関連会社や本社の仕事環境、課題形成/問題解決の巧遅拙速議論、これらの接点・包含・重層により遭遇できたPlanned Happenstanceである。

信頼性低下の起因は、電子回路基板か？ 部品実装か？ の狭間で、調査解析の関心は、カーケンドールボイド（Kirkendall Void）→カーケンドール効果（Kirkendall Effect）→カーケンドール（Kirkendall）博士→リサーチキャリア（Research Career）→キャリアチェンジ（Career Change）へと連鎖的に広がっていった。

ところで、カーケンドール博士が研究業績を積んだ1940年前後、すでに先進国と言われたUSAにおいて、多種多様なキャリアマインドが存在し得たのか？ 近年のUSAでは、カウンセリングやコーチングでの個別対応が社会的に高く評価され、“できる人達 and 選ばれた人達”も頻繁に相談し、助言を尊重して言動を起こす、と聴いている。

しかし、依然として、カーケンドール博士のキャリアチェンジに対し、“人生いろいろ、人それぞれ”を許容できない気持ち、“もったいない、せっかくそこまで、もっとやれたのに…”の論調や雰囲気の後生研究者や普通の人達の周辺にも漂っている。

### キャリア・カウンセリングの意義

いわゆる“結果キャリア”の確実な獲得、及び、“結果キャリア”を踏み台とする“自立キャリア”への先導、これは熟年人生のテーマのひとつで、今を支えてくれる後生へのご恩返しと考える。

“キャリア・カウンセラー”に公的な資格は無い。呼称も統一されていない。厚生労働省は、“キャリア・コンサルタント”と呼称している。同省は、2002年度から5年間で、キャリア・カウンセラーを当時の約2万人から5万人に増やす方針であった。

仕事・就業・キャリア形成への意識・意欲を高め、成長の各段階でその旬を逃さず具体策の実行を支援する。進捗の確認、環境作り、評価と激励、情報提供の重要性も考えると、キャリア・カウンセラーの仕事は、PDCAのサイクルを確実に回すことである。

日本的キャリア・カウンセリングの研究と普及を推進してきた第一人者である木村周氏（職業心理学研究者、元筑波大学教授）は、“個人と組織の両方を動かし、組織に貢献することも含めてキャリア・コンサルティングである。”と語り、また、“人的資源管理、従業員援助プログラム、キャリア開発システム等を通じて、従業員に快適な仕事環境を提供する役割も担っている。”と激励している。

社会全体が、科学・社会・人類の発展に貢献できる後生のキャリア形成を支援している。“もの作りはひと創り”という気運の盛り上がりを随所で感じる昨今である。



## カーケンドール博士のキャリア

- ・1914/ミシガンに生まれる.
- ・1934/Wayne College (のちの Wayne University) 卒業
- ・1935/master's degree
- ・1938/doctor of science: the Metallurgy Dept., University of Michigan
- ・1937-1941/専任講師, Wayne University
- ・1941-1946/assistant professor, Wayne University
- ・1947/有名な第3報『Zinc Diffusion in Alpha Brass』を発表.

R. F. Mehl (authority on diffusion, Carnegie Institute of Technology) は, Kirkendall の教授昇進を拒絶.

- ・1947-1965/secretary of AIME (American Institute of Mining and Metallurgical Engineers) —— キャリアアチェンジ, 33歳

manager at the United Engineering Trustees

- ・1966-1979/vice president, American Iron and Steel Institute

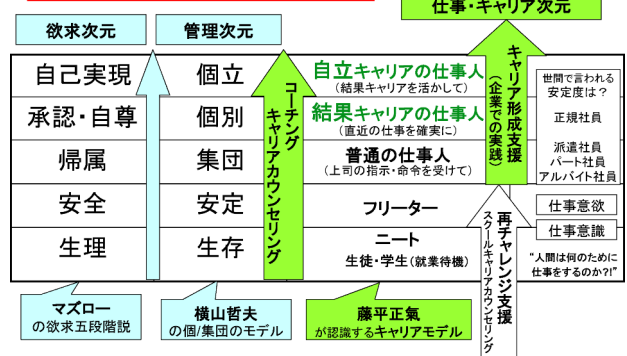
## カーケンドール博士のリサーチキャリア

固体での拡散現象を実験解析し, “原子は等速度で置換する. 接合界面はいつも固定されている.” という従来理論を否定した. いわゆるカーケンドール効果を発見し, 原子拡散が Vacancy Exchange によって起こることを証明した.

解析手段は, 自作した光学顕微鏡による断面観察,

## キャリア・カウンセリングの意義

### 結果キャリアと自立キャリアの概念



## カーケンドール博士のリサーチキャリア 固体での拡散現象

- ・1896/W.C.Roberts-Austenが, 固体鉛への金の拡散現象を発見.
- ・1940s/金属や合金中で原子拡散は下記(a)と(b)で起こる. 同じ拡散速度を示唆する.
- ・1947/Ernest Kirkendallが, 真鍮での銅と亜鉛の相互拡散実験で, 高温相互拡散により異相界面が移動する観察結果を発表. まさしくKirkendall Effectを発見.
- 原子拡散が下記(c)のvacancy exchangeによって起こることを証明した.
- ・**学説非難, 説得, 容認, ... , 教授審査, 拒絶判定, そしてCareer change, 何故か?**
- しかしさらにその後/Kirkendall Effectは種々の合金系でも発見された.
- 格子欠陥と拡散に関する研究が進展, 異種素材の接合界面近傍に発生するvoidsを抑制する技術に応用, structural materials welding, metals and ceramics powders sintering, thin film, LSIの分野でも広く研究対象に!

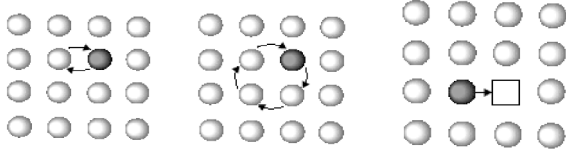
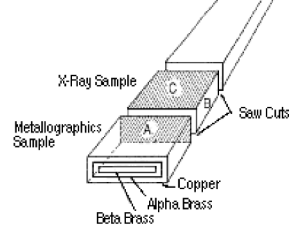


Figure 1. The atomic diffusion mechanism showing (a) direct exchange mechanism, (b) ring exchange mechanism, and (c) vacancy exchange mechanism.

## カーケンドール博士のリサーチキャリア 学会論文[第1報]

題目	Rates of Diffusion of Copper and Zinc in Alpha Brass
著者	E.Kirkendall, L.Thomassen, and C.Uphthegrove
所属	University of Michigan (Wayne University)
書誌	Trans. AIME: 198-203, 133(1939)
概要	<p>“New Method”により, <math>\alpha</math>-brass中の銅と亜鉛の拡散係数を高精度で測定することに挑戦. 3つの温度でbrass中の亜鉛の拡散を報告.</p> <p>試験片作製は, <math>\beta</math>-brassを線面研磨, 電解銅めっき, 450°C・10ks(約2.8hrs.)で真空酸素水素, マルコ電気炉で所定の拡散アニール, 水中冷却, 切断.</p> <p>研磨面Aの金属組織を光学顕微鏡で観察. 研磨面BからX線回折で格子定数を測定, <math>\alpha</math>-brass中の亜鉛濃度に換算.</p> <p>拡散アニールで, <math>\alpha</math>-brass層が銅と<math>\beta</math>-brassの接合界面の両側に成長. <math>\alpha</math>-brass層は円柱状粒子から成るので, <math>\alpha/\beta</math>の境界は鮮明. 一方, 銅リッチ<math>\alpha</math>-brass層は銅と同じ結晶構造なので, 境界が不明.</p> <p><math>\alpha</math>-brass層は均一厚みで成長.</p> <p>拡散アニールにより, 初期の境界が移動していた. これは, 銅と亜鉛の拡散速度の違いではなく, <b>bcc格子の<math>\beta</math>-brassとfcc格子の<math>\alpha</math>-brassの体積変化</b>に因ると説明. 拡散速度が同じと仮定して, 4つ以上の原子が関与するring exchangeに因る拡散と結論. <b>拡散速度の違いを主張せず. その結果, この第1報は, シカゴ大学のD.Sc.学位論文になった.</b></p>

Figure 2. A schematic of the specimen used for the study of the first paper.



1935年, Kirkendallはシカゴ大学のUphthegroveの指導で研究を開始. 固体金属での原子拡散現象, 特にMehlの学説に関心. 平衡相図, 特に $\beta$ -brassが冷えると $\alpha$ -brassと $\beta$ -brassに相分離することに関心. brassでの拡散は, 当時まで定性的な議論のみ.

## カーケンドール博士のリサーチキャリア 学会論文[第2報]

題目	Diffusion of Zinc in Alpha Brass
著者	E.O.Kirkendall
所属	Wayne University
書誌	Trans. AIME: 104-110, 147(1942)
概要	<p>第2報では, <math>\phi</math> 15mmの円板状の試験片を使用. Muntz metal (60.6%Cu, 0.1%全不純物, 39.3%Zn)を試験片に, 表面に厚み5.12mmの電解銅めっき, 拡散アニール. 光学顕微鏡で断面観察. 基準界面と<math>\alpha/\beta</math>相境界の変位を測定. 200-250<math>\mu</math>m厚みごとに表面格子定数をX線で測定, 試験片のZn濃度を換算.</p> <p>780°Cの連続拡散アニールを701hrs.まで. <math>\Rightarrow</math> 基準界面の両側に<math>\alpha</math>-brass層が形成. <math>\beta</math>-brass側の<math>\alpha</math>-brass層は円柱状粒子から成るので, <math>\alpha/\beta</math>の境界は鮮明. 結晶構造が, <math>\alpha</math>-がfcc, <math>\beta</math>-がbcc, と異なるから. 一方では, 銅リッチ<math>\alpha</math>-brass層は, 銅と同じ結晶構造なので, 粒子サイズの違いや<math>\alpha</math>-brass/Cuの境界面も不鮮明.</p> <p>780°C・26%Zn濃度でのdiffusivity Ave.は, <math>D=3.8 \times 10^{-13} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}</math></p> <p>基準界面の変位は, 第1報と異なり下記を結論. <math>1/5</math>が, <math>\beta</math>から<math>\alpha</math>-brassへの相変化起陥の体積収縮で発生. <math>4/5</math>が, CuよりZnの拡散が速いことで発生.</p>

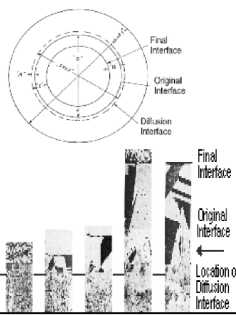


Figure 5. Metallographic observation at the successive diffusion anneal at 1,053 K. until 2,523.6 ks: (a) one hour, (b) six hours, (c) 24 hours, (d) 96 hours, (e) 701 hours, and (f) 701 hours.

## カーケンドール博士のリサーチキャリア 学会論文[第3報]

題目	Zinc Diffusion in Alpha Brass
著者	A.D.Smigelskas and E.O.Kirkendall
所属	Wayne University
書誌	Trans. AIME: 130-142, 171(1947)
概要	<p>大きな体積変化(<math>\beta</math>から<math>\alpha</math>-brassでの)を避けるため, 70-30brass (70%Cu &amp; 30%Zn)を選択.</p> <p>基準界面の変位を正確に観察するため, brassとCuの接合界面に熔融しないMo細線を埋め込んだ. brass barは, L180×W19mm, 表面研磨. <math>\phi</math> 127mmのMo線を長さ方向に延伸, 厚さ2.5mm程度で4日間の電解銅めっき. barは, <math>\alpha</math>-brass7, Mo線, 電解銅で構成. 785°Cで所定時間の拡散処理.</p> <p>拡散侵入アノード距離を測定. X線回折で, 拡散侵入アノード距離の半値を示す. Fig.8は, 界面間距離の半値を示す.</p> <p>拡散侵入アノードから求めた相互拡散係数は, <math>D=4 \times 10^{-13} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}</math></p> <p>第2報の値をよく再現. 785°C・56日間で, Mo線間距離の収縮, 基準界面の変位は, 0.127mm <math>\Rightarrow</math> 金属組織観察からも, CuへのZn拡散が, brassへのCu拡散より速い, ことを確認.</p> <p>Kirkendallは, 拡散の理論で, 原子が等速度で置換すること, 接合界面はいつも固定されていること, が間違っていることを結論.</p>

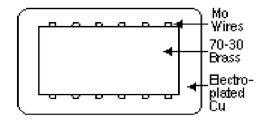
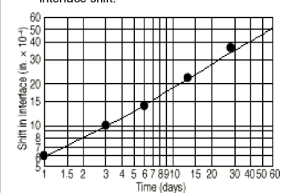


Figure 7. A sketch of a cross section of a bar-shaped specimen from the third paper.

Figure 8. The annealing time dependence of interface shift.



及び、共同製作した X 線回折装置による定数測定に依り、極めて不十分な時代であった。

生涯の学会論文は 3 報のみ。しかし、固体物理を端緒に広く科学研究分野に新たな研究テーマを創製した功績は大きい。

詳細は、別記の解説と図表をご参照下さい。

#### カーケンダール博士のキャリアチェンジ

これからというリサーチキャリアを何故中止したのか?! 憶測として、曰く

- ・新説を歓迎しない保守的な大学の評価組織に研究の情熱を失った。
- ・学位論文となったが、非難を恐れ自説を後退させた [第 1 報] での結言。
- ・思い直してカーケンドール効果に至る [第 2 報], [第 3 報] での自説展開, しかし, 教授審査で拒絶査定を受けた。
- ・他の職域でも十分実力を発揮できる自信。
- ・経済的な理由に解決手段は無かったのか?

拓いた研究領域でまた新たな発見があったかも, …。今になっても“できる人 and 選ばれた人”への期待は、後生からも大きく、そのキャリアを限定や固定して考えてしまう。

#### おわりに

最近のこと, そして昔のことをよくよく思い起してみると, “隣の芝生は青いなあ…” 誰しもそう思い, 悩み, 苦しむ時がある。人は, 皆凡夫, 煩悩に囚われて迷いから抜け出られない衆生である。流されるのも仕方がない。しかし, 流されながらも何かを掴む。

世の大半は, ささやかな夢と希望を抱き, 直近を懸命に生きてきた。その継続で, なんらかの“結果キャリア”を得る。それを活用して, “自立キャリア”が拓ける。一部の大成功者が後付けで語る最初からの“自立キャリア”への挑戦は, 普通の人には馴染まない。

すでに一流の研究者であったカーケンドール博士, そのキャリアチェンジは若気の至りだったのか?! さらなる辛抱と忍耐があればさらなる研究業績も期待できた!

晩年, カーケンドール博士は, “あの時は金銭を優先せざるを得ない私生活があった。自分の人生には満足している。”と, インタビューに答えていたが, …。

只今 TV では, “なでしこジャパン・ワールドカップ優勝”の称賛番組を放映している。彼女達の活躍を見て日本全体が元気をもらった, この功績は大きい。これからロンドン五輪まで, 彼女達は間違いなく“できる人達 and 選ばれた人達”として注目される。

#### 参照図書等

- ①木村 周著『キャリア・カウンセリング／理論と実際、その今日的意義 (改訂新版)』  
(社)雇用問題研究会 (平成 16 年)
- ②幸田成康著『改訂 金属物理学序論／標準金属工学講座 9』コロナ社 (平成 16 年)
- ③(社)日本金属学会編『ミクロ組織の熱力学／講座・現代の金属学 材料編 (第 2 巻)』  
(社)日本金属学会 (平成 17 年)
- ④ H. Nakajima: The Discovery and Acceptance of the Kirkendall Effect/The Result of a Short Research Career. JOM, **49**(6), (1997), 15-19
- ⑤ E. Kirkendall, L. Thomassen and C. Upthegrove: Rates of Diffusion of Copper and Zinc in Alpha Brass. Trans. AIME, **133** (1939), 186-203
- ⑥ E. Kirkendall: Diffusion of Zinc in Alpha Brass. Trans. AIME. **147**(1942), 104-110.
- ⑦ A. D. Smigelskas and E. O. Kirkendall: Zinc Diffusion in Alpha Brass. Trans. AIME, **171** (1947), 130-142.