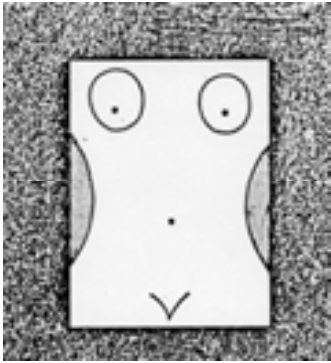


お猿さんの顔に見えますか？



## 2008年の世相 「変」

長崎大学歯学部とともに  
へんたい

久恒 邦博



### 共通のkeyword

- オバマ大統領の選挙戦中のキャッチフレーズ  
→change, 変革
- 法人化後の歯学部の将来→改革, 改善
- 私の研究内容→  
相変態 phase transformation  
相変化 phase change  
**すべてが良い方向への変化**

### 軌跡

九州歯科大学 (s44.1.1.~s46.3.31.)

(2年3ヶ月, 六反田教授)



九州大学・歯学部 (s46.4.1.~s55.3.31.)

(9年, 中山・原・中村教授)



長崎大学・歯学部 (s55.4.1.~h21.3.31.)

(29年, 吉田・筑波・澤瀬教授)

### 学生時代



## 1980年(昭和55年)

- 長崎大学歯学部1期生入学-矯正 吉田教授入学
- 1億円拾得事件
- 物価:封書50円、はがき20円
- ルービックキューブ
- ポカリスエット
- ウォッシュレット
- 「赤信号みんなで渡ればこわくない」
- ヘッドホン族(ウォークマン)
- 雨の慕情(八代亜紀)
- 昴(谷村新司)
- 恋人よ(五輪真弓)
- 王現役引退
- 三重ノ海、北の海、若乃花、輪島



## 歯科理工学講座在籍者



**安田克廣**, 有働公一(山口大学・医学部准教授),  
**入江(詫間)康子**, 中川雅晴(九州大学・歯・講師),  
谷 俊彦(岡山県開業), Bambang Irawan  
Sosrosoedirdjo(インドネシア, 教授), 田中康弘(香  
川大学・工学部准教授), 岩沼健児(長崎県波佐見町  
開業), Alaa El Araby(エジプト, 助教授), Salonga  
Johnny Ponce(フィリピン), Amal Sakrana(エジプト,  
講師), Hernandez Rhodora Isidro (フィリピン, 教  
授), Htain Winn(ミャンマー), **白石孝信(准教授)**,  
**三浦(藤原)永理**, Seol Hyo-Joung(韓国, 助教  
授), 緒方敏明, 藤田剛史

## 研究テーマ

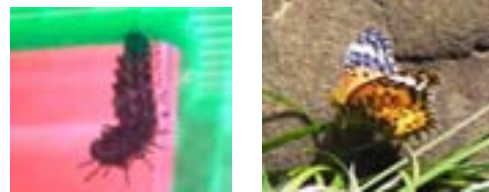
### 「歯科用貴金属合金の 相変態と時効硬化」

## 金属の強化方法

1. 加工硬化: 冷間加工
2. 時効硬化: age-hardening  
軟化熱処理, 硬化熱処理→へんたい
3. 固溶硬化: 合金化
4. 結晶粒微細化硬化:  
白金族元素(Rh, Ir)の添加



## へんたい



## へんたい→変態→相変態

### ○変態(広辞苑):

- ①正常でない形態
- ②形態を変えること。
- ③カエルや昆虫の変態
- ④物質の変態, 転移

### ○相変態:

物質の集合状態が異なるような変化。温度や  
圧力等によって誘起される。

## 歯科材料における相変態(1)

### ◎セラミック材料

- ①石膏
  - ・脱水転移:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4$  (収縮)
  - ・相転移: III型 $\text{CaSO}_4 \rightarrow$ II型 $\text{CaSO}_4$  (収縮)
- ②埋没材
  - ・シリカ( $\text{SiO}_2$ )の同素変態:  $\alpha \rightarrow \beta$  (膨張)

\* 変化: 結晶構造, 長さ, 熱, 強さ, 色等々

## 歯科材料における相変態(2)

### ◎金属材料

- 鑄造時の溶解現象: 固体→液体 (融点)
- 鑄造後の凝固現象: 液体→固体 (凝固点)
- **熱処理に利用される相変態: 固体→固体**



**平衡状態図** (材料開発の羅針盤, 地図)



変数: 温度, 圧力, 組成 (成分と割合)

## 固相変態挙動のプロセス

- (1) 溶体化処理 (**軟化熱処理**):  
 加熱 (700°C \* 30min): 均一相の達成  
 急冷: 高温相の確保と過剰凍結空孔  
 室温では不安定相
- (2) 時効処理 (**硬化熱処理**)  
 加熱: 昇温焼鈍と等温焼鈍  
 安定相への経路:  
 途中の準安定相が有効  
 硬化 (時効, aging) → 軟化 (過時効)

### ◎ Aging, ageing:

「小学館ランダムハウス英和辞典」

- ① 年をとること。
- ② [化学, 冶金, 窯業] 熟成, ねかし, **時効**

### ◎ 時効: 「広辞苑」

- ① 法律の制度
- ② 物質を適当な温度に長時間放置して, その間に徐々に発酵, コロイド粒子の生成その他の化学変化などを行わせること。

「金属用語集」: **金属材料の性質が時間が経つにつれて変化すること。**

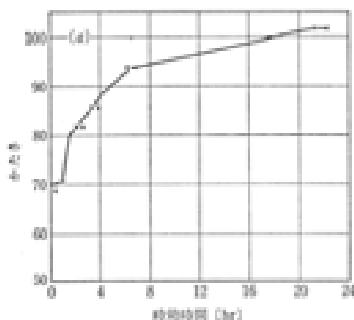
都合の良い方向に変わる。→時効硬化

## 時効硬化の発見

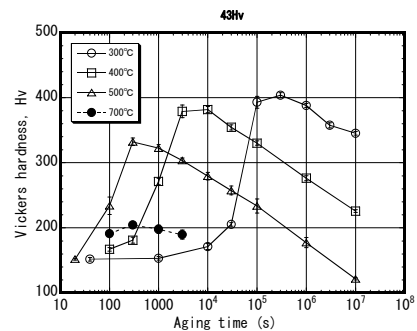
◎ 1906年9月のある月曜日の出来事です。  
 Alfred Wilm (独), Al-4%Cu-0.5%Mg合金

- ① 土曜日に焼き入れし, 午後1時まで硬さ測定
- ② 日曜日はヨット遊び
- ③ 月曜日に硬さの再測定 → **硬くなっていた。**

Something of importance had sailed into his laboratory while he was sailing on the lake.

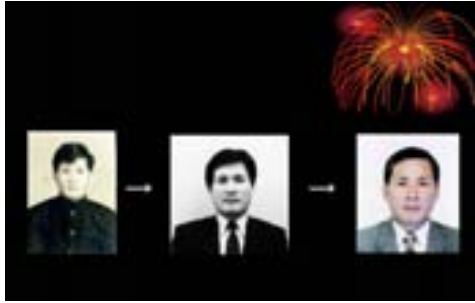


引用文献①



引用文献②

## Aging (加齢)



## 研究試料合金



### ◎歯科用合金

- ①低融銀合金
- ②金銀パラジウム合金
- ③金合金  
(低カラット金合金, 高カラット金合金, 白金加金)  
(陶材焼付用合金, ろう付け用合金)

### ◎試作合金

- ①規則一不規則変態  
(CuPt, CuPd, Cu<sub>3</sub>Au, CuAu<sub>3</sub>等)
- ②CuAu-X, Cu<sub>3</sub>Au-X, CuAu<sub>3</sub>-X
- ③Au-Pd-Cu, Au-Pt-Cu, Au-Pt(Pd)-X, Au-X等々



## 研究のキーワード

- 相変態
- 時効硬化
- X線回折
- 電子顕微鏡
- 結晶構造
- 規則格子
- 拡散
- 熱処理



100



## 相変態研究

○熱処理→原子拡散→原子の再配列→相変態

### マクロ検出方法:

原子配列変化: 電気抵抗変化, 熱測定等  
時効硬化: 硬さ試験, 引張試験等

### ミクロ検出:

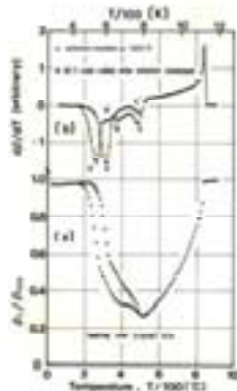
結晶構造変化: X線回折  
結晶構造と形態変化: 電子顕微鏡



**マクロ現象をミクロ(原子)レベルの挙動で説明**

## 電気抵抗変化

- CuPt合金
- 溶体化処理  
900°C × 1h後, 焼入れ
- 昇温時効処理  
0.1°C/min
- 面心立方晶→斜方晶
- 測定: 1°C間隔(10分)

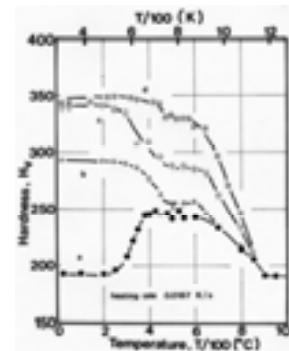


引用文献③

## 硬さ測定

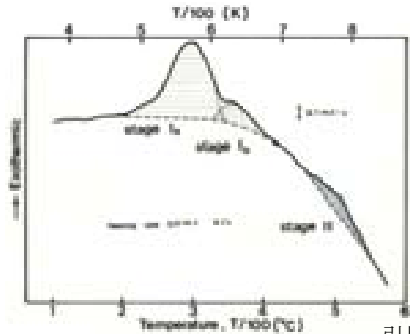
○マイクロビッカース硬さ

- 熱処理と測定:  
<昇温焼鈍⇔測定>  
の繰り返し
- TEM, SEM, XRDを組み  
合わせて解釈する。



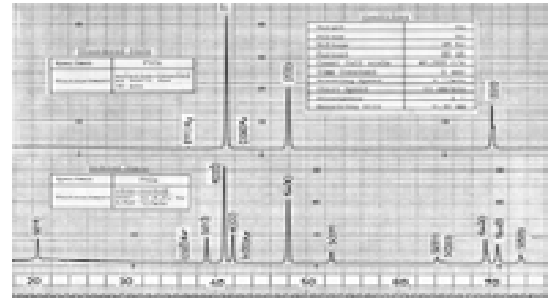
引用文献④

### 熱測定(DSC)

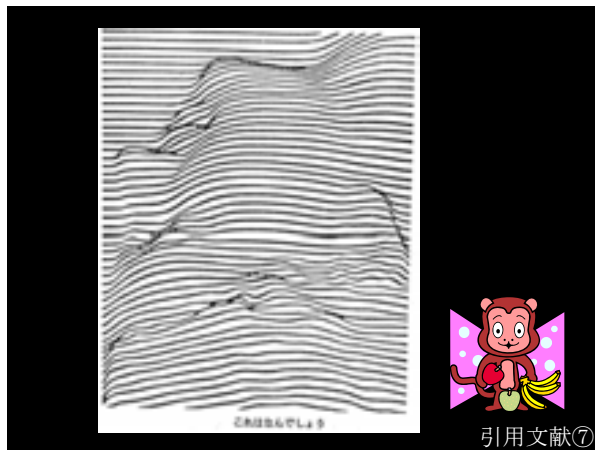


引用文献⑤

### X線回折(不規則相と規則相)



引用文献⑥



引用文献⑦

Ich denke,  
also bin ich.

R. Descartes

### 獲得情報

● **新しい合金開発**の基礎的情報

- ① 硬化挙動: 硬さ試験
- ② 相変態の素反応過程: 電気抵抗
- ③ 相変態挙動と時効硬化メカニズム:  
XRD, TEM等
- ④ 結晶構造の同定: XRD, TEM
- ⑤ 擬二元系状態図の確定:  
XRD, TEM, 電気抵抗等
- ⑥ 最適熱処理条件の決定  
等々

### 歯科用合金の相変態と時効硬化

- (1) 金合金: (Au-Ag-Cu-Pt-Pd-Zn-Ir)
  - **高カラット金合金 18K, タイプ4**
  - 低カラット金合金 12-16K
  - 陶材焼付用 (Cu→In, Sn, Fe)
- (2) 銀合金: (Ag-Pd-Cu-Au-Zn-Ir)
  - **金銀パラジウム合金→キンパラ or パラ**
  - 陶材焼付用 (Cu→In, Sn, Fe)

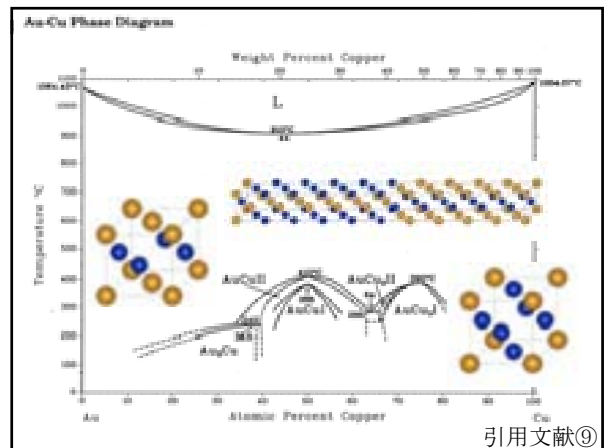
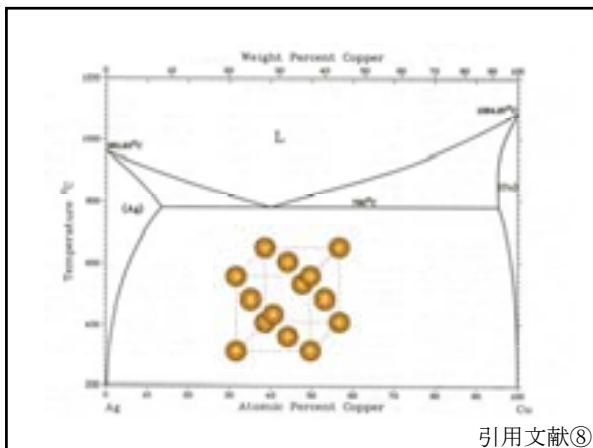


### 相変態に伴う結晶構造変化

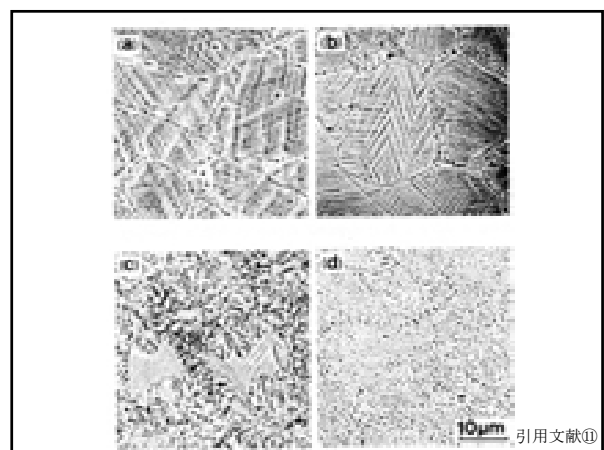
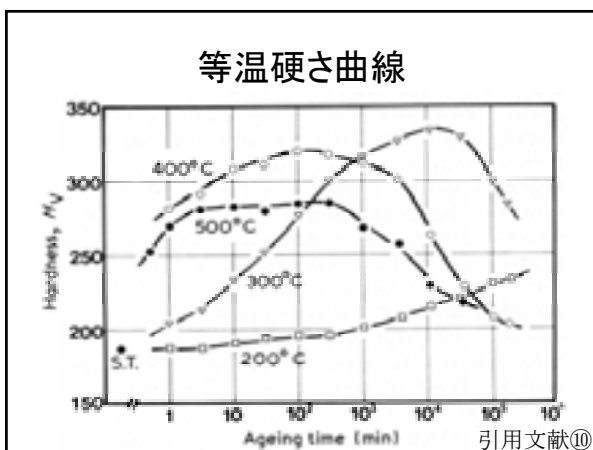
- (1) 2相分離  
 $\alpha_0$  (面心立方fcc)  $\rightarrow \alpha$  (fcc) +  $\beta$  (fcc)
- (2) 規則格子の形成:  
 CuPd (体心立方bcc)  
 CuAuI (面心正方fct),  
 CuAuII (斜方晶) Cu<sub>3</sub>Au (fcc)

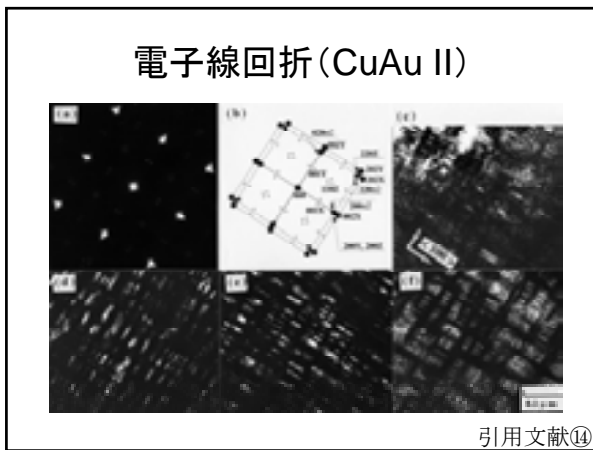
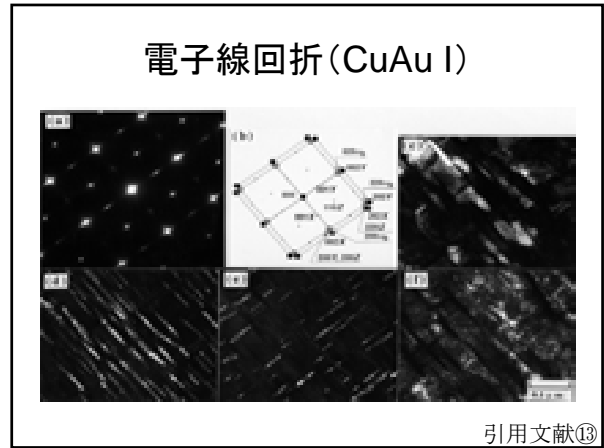
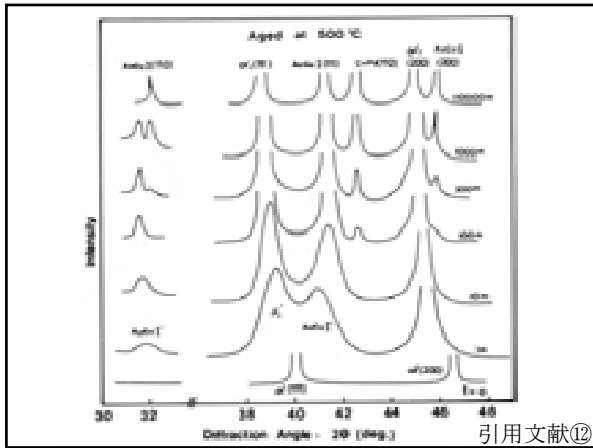
### 歯科用金合金(Au-Ag-Cu)

- Au-Ag: 全率固溶体
- Ag-Cu: 共晶  $\rightarrow$  析出
- Au-Cu: 全率固溶体 + 規則格子  $\rightarrow$  規則化




### 等温硬さ曲線





### 歯科用金合金の相変態と時効硬化挙動

(1) **硬化**現象: 粒内反応 

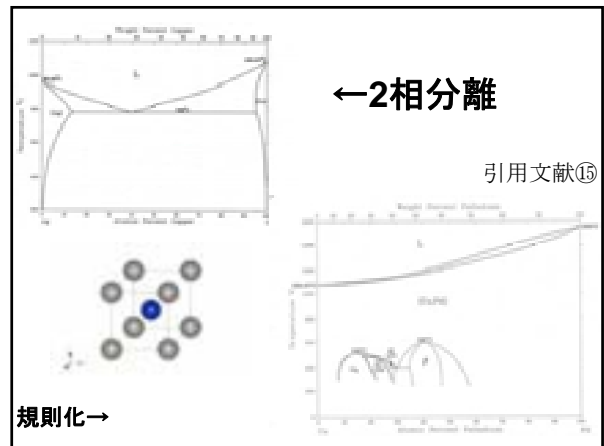
$$\alpha_0 \text{ (fcc)} \rightarrow (\text{CuAu I})' \text{ (fct)}$$

(2) **軟化**現象: 粒界反応

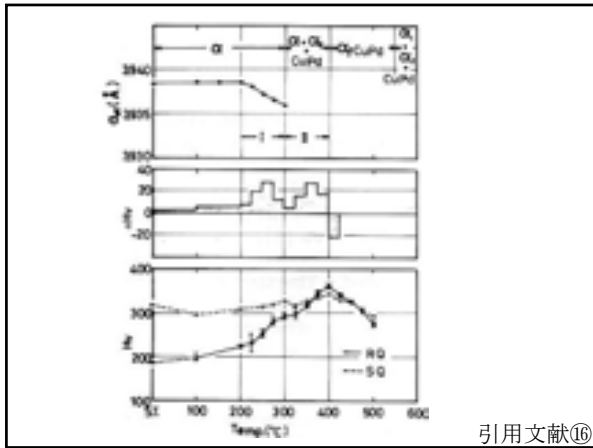
$$\rightarrow \text{CuAu I (fct)} + \alpha_2 \text{ (fcc)}$$

### 歯科用銀合金 (Ag-Pd-Cu)

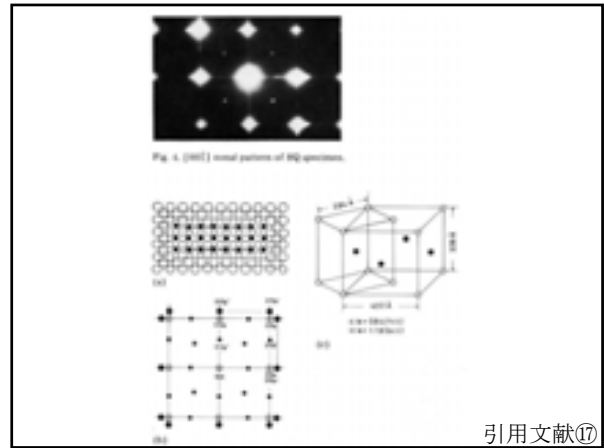
- Ag-Pd: 全率固溶体
- Ag-Cu: 共晶
- Pd-Cu: 全率固溶体 + 規則格子



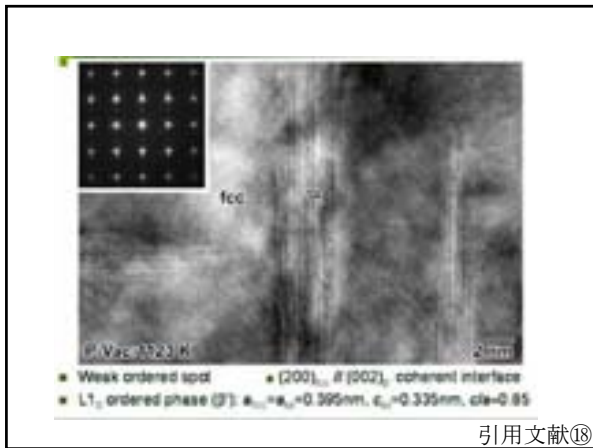




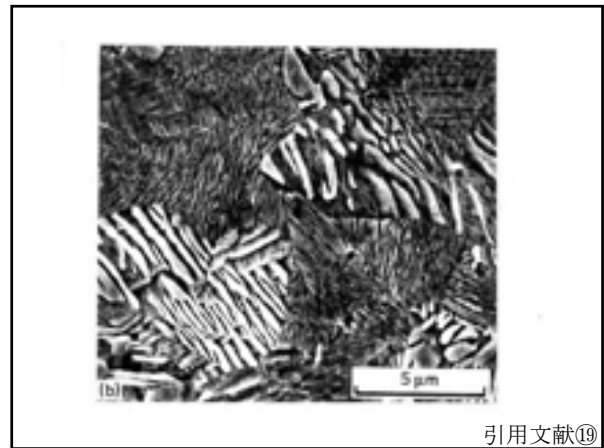
引用文献⑯



引用文献⑰




引用文献⑱



引用文献⑲

金銀パラジウム合金の場合

(1) **硬化**現象: 粒内反応 

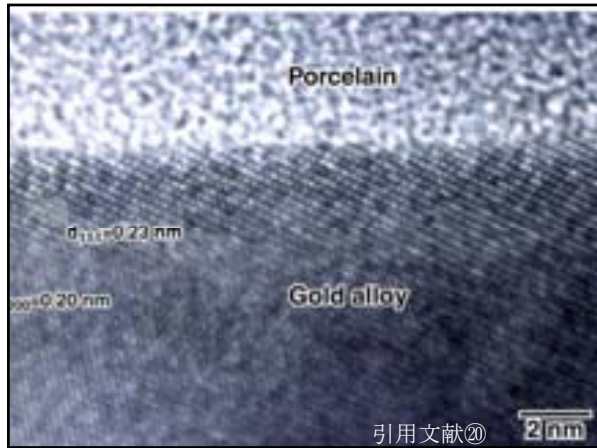
$\alpha_0$  (fcc)  $\rightarrow$  (CuPd)' (fct)

(2) **軟化**現象: 粒界反応

$\rightarrow$  CuPd (bcc) +  $\alpha_2$  (fcc)

大学教員のメリット

- ① **好きな研究**
- ② おまけで海外生活 (**留学**)
- ③ 学会出席 (**国内と海外**)
- ④ 教育の楽しみ



## 最後に頭の体操

Q : Circle とTriangleの共通点は何か？



読売新聞2008年12月26日  
世論調査「教育観」  
(権利者の都合により削除)

## 研究者・教育者への道

- ①人の心がわかること。→志と心
- ②「なぜ？」に答えようとする事。  
→知力
- ③全体的にものごとを捉えられること。  
→行動力

へんたいした歯学部を !!

We are one.  
I have a dream.



御清聴有り難うございました。



◎ 引用論文一覧

1. A. Wilm, Physikalisch-metallurgische Untersuchungen über Magnesiumhaltige Aluminium-legierungen, Metallurgie, 8(1911)225.
2. 未発表
3. 久恒邦博：昇温焼鈍法による等原子比合金 CuPt の規則化過程の検討, 日本金属誌, 42(1978)118-124.
4. **K.Hisatsune**, T.Shiraishi, Y.Takuma, Y.Tanaka and E.Miura : Effect of Cold Working on Ordering of an Equiatomic CuPt Alloy, J.Alloys & Comp., 391(2005) 38-41.
5. **K.Hisatsune**, T.Shiraishi, Y.Takuma, Y.Tanaka and E.Miura : Effect of Cold Working on Ordering of an Equiatomic CuPt Alloy, J.Alloys & Comp., 391(2005) 38-41.
6. 未発表
7. 不詳
8. T.B.Massalski, Binary Alloy Phase Diagrams, 2<sup>nd</sup> Ed., Vol.1, ASM international, USA, 1990, p.29.
9. T.B.Massalski, Binary Alloy Phase Diagrams, 2<sup>nd</sup> Ed., Vol.1, ASM international, USA, 1990, p.360.
10. **K.Hisatsune**, M.Nakagawa, K.Udoh, B.I.Sosrosoedirdjo and M.Hasaka : Age-Hardening Reactions and Microstructures of a Dental Gold Alloy with Palladium and Platinum, J.Mater.Sci.:Mater.Med., 1(1990)49-54.
11. **K.Hisatsune**, M.Ohta, T.Shiraishi and M.Yamane : Aging Reactions in a Low Gold, White-Dental Alloy, J.Dent.Res., 61(1982)805-807.
12. **K.Hisatsune**, M.Ohta, T.Shiraishi and M.Yamane : Aging Reactions in a Low Gold, White-Dental Alloy, J.Dent.Res., 61(1982)805-807.
13. 未発表
14. 未発表
15. T.B.Massalski, Binary Alloy Phase Diagrams, 2<sup>nd</sup> Ed., Vol.1, ASM international, USA, 1990, p.29 and Vol.2, P.1455.
16. M.Ohta, **K.Hisatsune** and M.Yamane : Age-Hardening of Dental Ag-Pd-Cu Alloy, J.Less-Comm.Metals, 65(1979) P11-P21.
17. M.Ohta, **K.Hisatsune** and M.Yamane : Age-Hardening of Dental Ag-Pd-Cu Alloy, J.Less-Comm.Metals, 65(1979) P11-P21.
18. 田中康弘, 薛暁, 緒方敏明, 三浦永理, 白石孝信, 久恒邦博 : 溶体化处理による歯科用金銀パラジウム合金の機械的性質向上のメカニズム, 日本金属学会 2002 年秋期 (第 131 回) 大会, 吹田, 2004 年 9 月 {講演概要, p. 105}
19. **K.Hisatsune**, M.Nakagawa, K.Udoh, B.I.Sosrosoedirdjo and M.Hasaka :

Age-Hardening Reactions and Microstructures of a Dental Gold Alloy with Palladium and Platinum, *J.Mater.Sci.:Mater.Med.*, 1(1990)49-54.

20. 田中康弘, 有働公一, 久恒邦博 : 歯科用陶材/貴金属合金焼付界面の電顕観察, ミニ特集「電子顕微鏡による材料研究の最前線 (第2回)」, 日本金属学会会報 までりあ, 37 (1998) 986.