

高強度導電材料の組織制御と特性向上

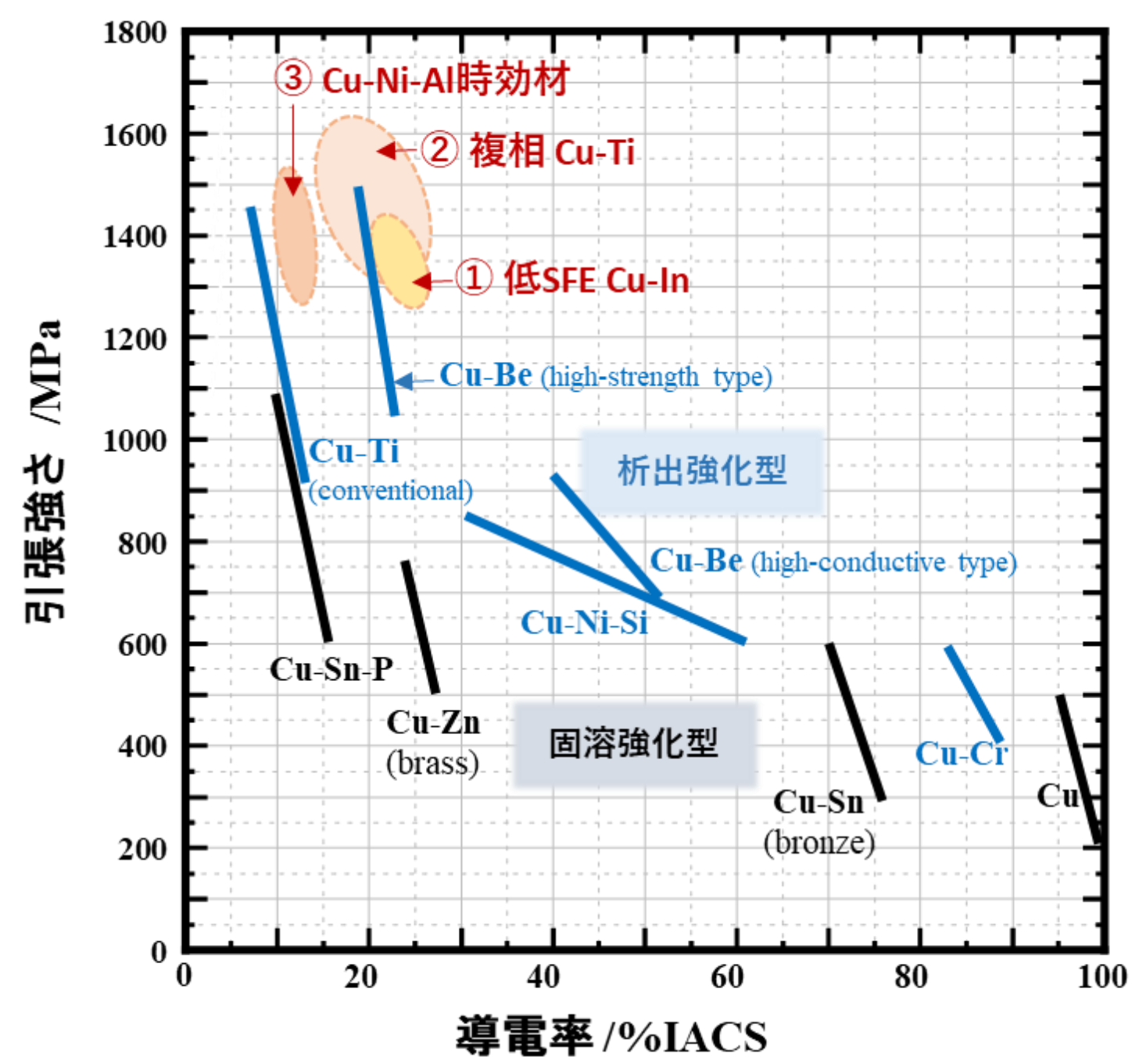
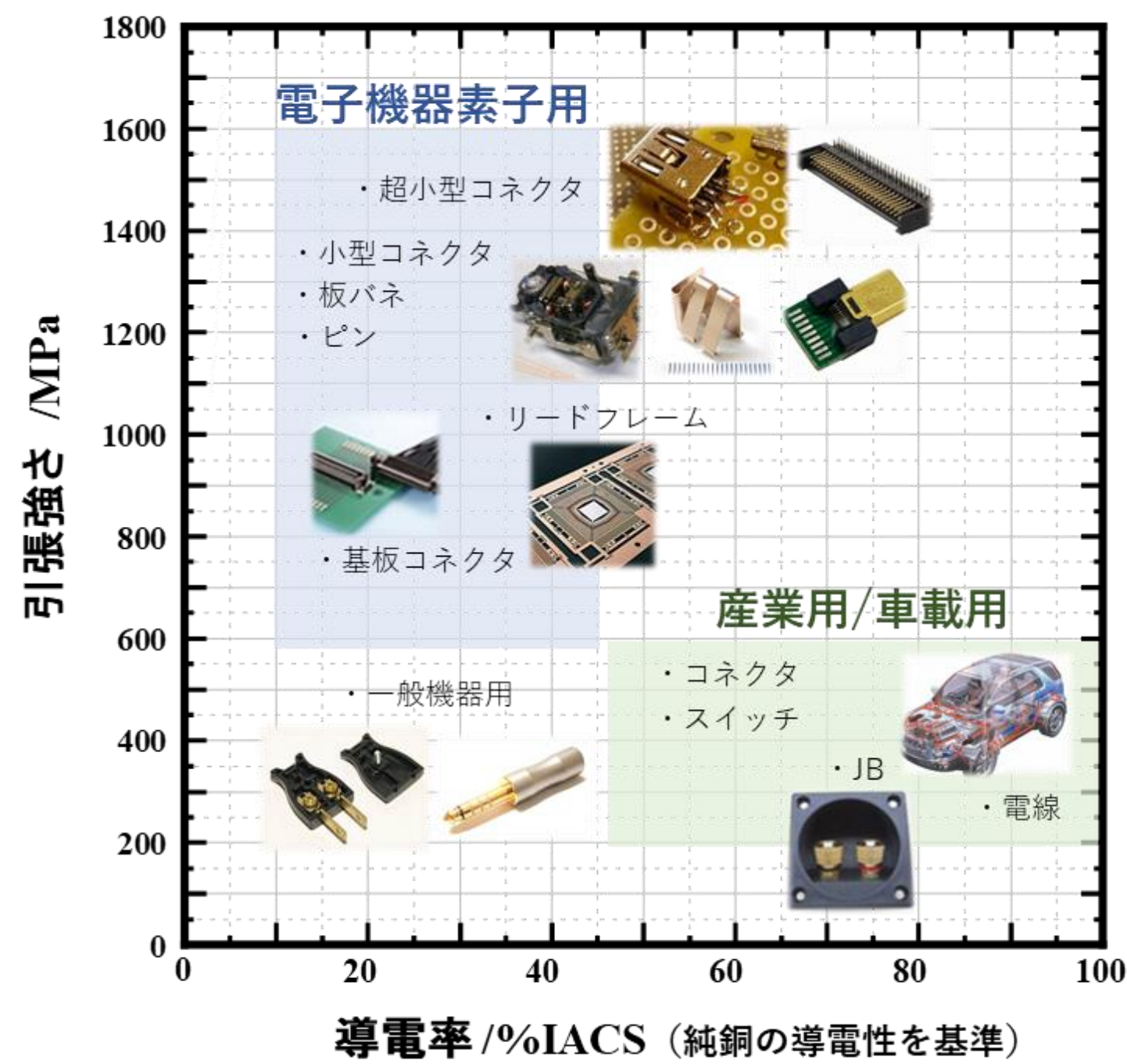


東北大学

銅合金の組織制御と特性向上の試み

情報化社会の進展に伴う電気・電子機器の小型化・高性能化に呼応して、電子素子部材に用いられる銅合金薄板材・線材では更なる高強度化－高導電率化が切望されています。

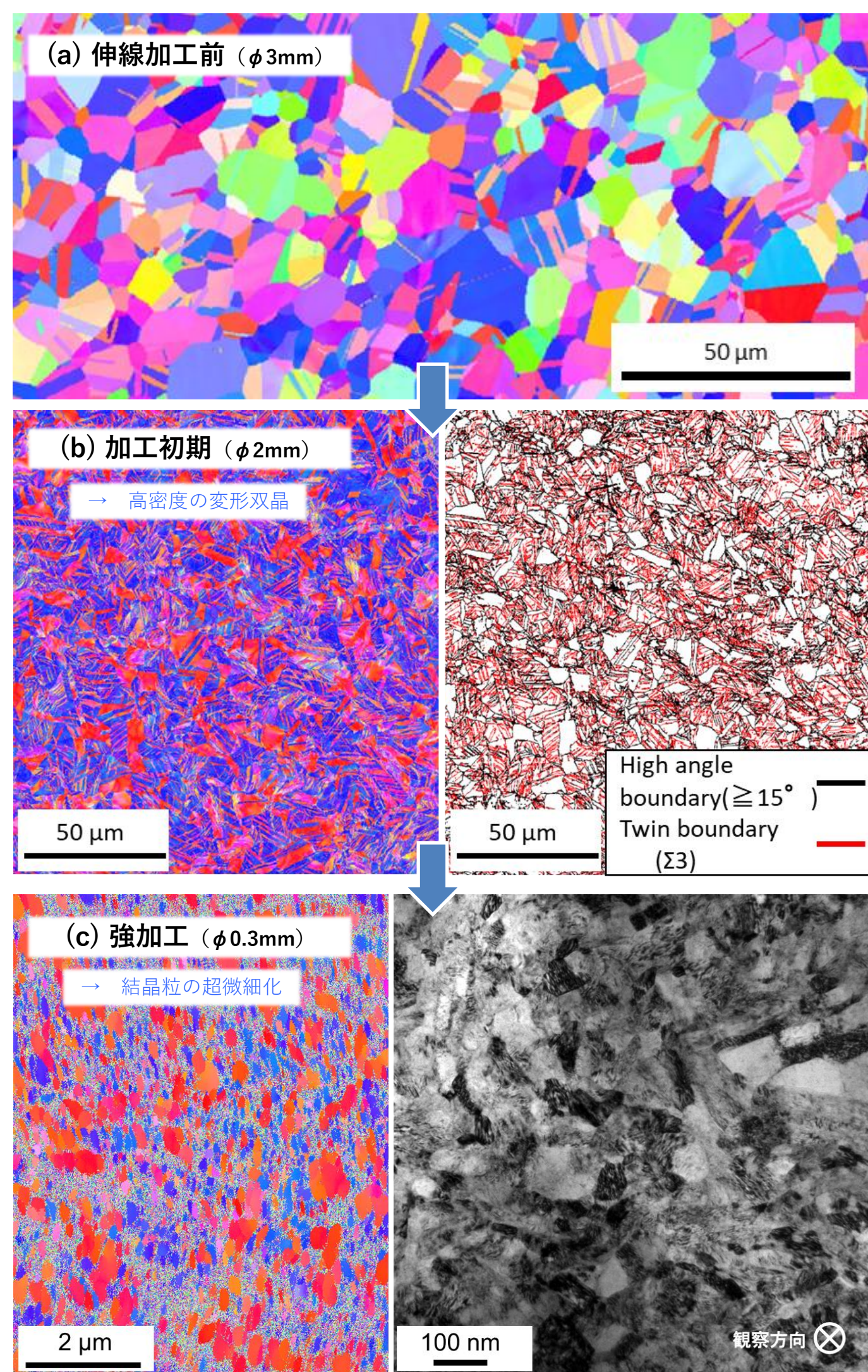
本センターでは、独自の合金設計および熱加工プロセスにて各種銅合金の組織制御や特性改善を推し進めています。学と学，産と学との綿密な共同研究により、学術的にも実践的にも有意な成果を発信し続けており、業界からも高い評価を受けています。



【図】(左) 通電用各種製品，部材の要求特性。電子機器素子用途では高強度化の要求が強い。(右) 本グループにて研究開発した高強度高導電性銅合金群(①～③)と一般的な固溶強化型，時効析出型銅合金の強度-導電性バランス

① 低SFE Cu-In合金 伸線材

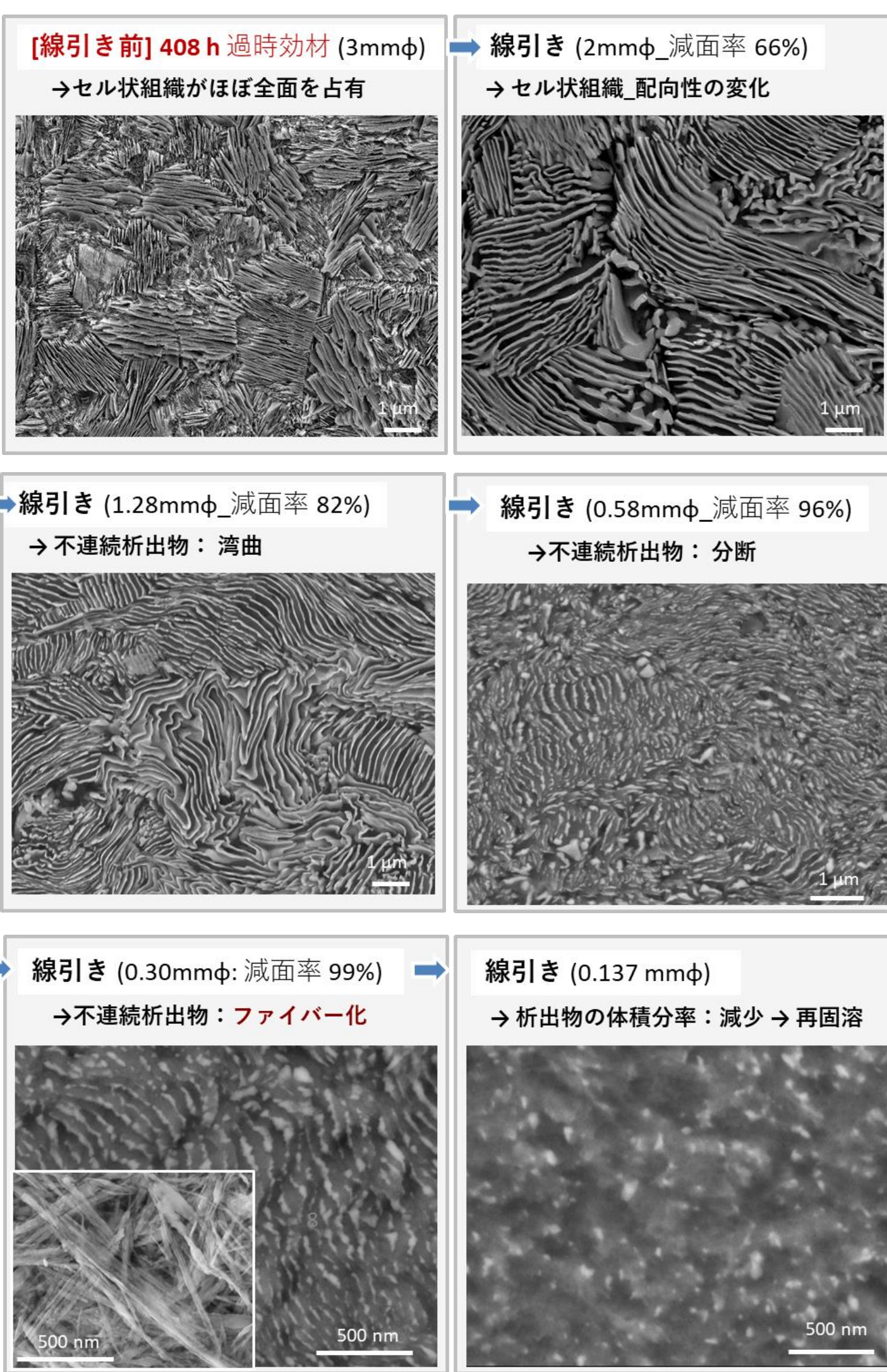
銅-インジウム (Cu-In) 合金は固溶強化型です。他の固溶強化型銅合金と比較して、(i) 固溶強化能が高い、(ii) 導電率の低下が小さい、(iii) 積層欠陥エネルギー (Stacking fault energy: SFE) が小さいことが特徴です。本グループでは、Cu-In合金を最適に強加工することにより、結晶粒が超微細化した線材を開発しました。本線材は時効析出型に匹敵する強度特性を示します。



【図】 Cu-5.0 at.% In合金のダイス伸線加工にともなう組織の変化 (IPFおよびTEM像)。(a) 伸線加工前は、銅固溶体の等軸粒単相組織 (結晶粒径: 約10 μm)。(b) 伸線加工初期では、低SFEに起因して変形双晶が高密度に導入。(c) 強伸線加工では、結晶粒径が100 nm以下の超微細組織が発達。これが主因子として作用するため高強度化。

② 複相Cu-Ti合金 強加工材

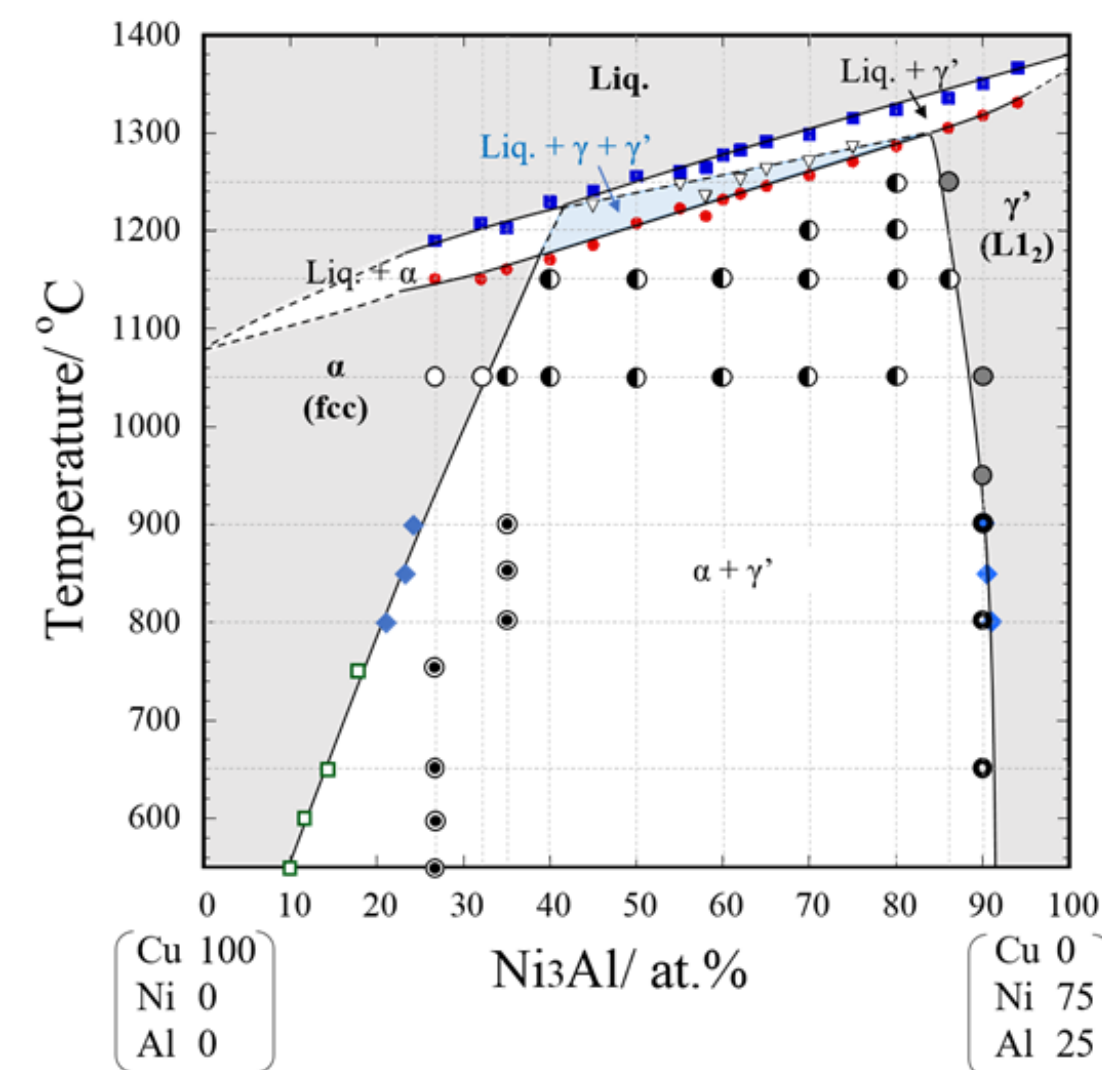
銅-チタン (Cu-Ti) 合金を過度に時効熱処理すると、銅固溶体と化合物 (Cu₄Ti) の積層組織となります。この組織では導電率は向上するものの強度が著しく低下します。しかし、この複相材を強加工した線材・薄板材では、Cu₄Ti層がナノファイバー化するため強度が顕著に増加します。強度-導電性バランスは、合金組成や熱処理，加工条件によって多様に制御することができます。



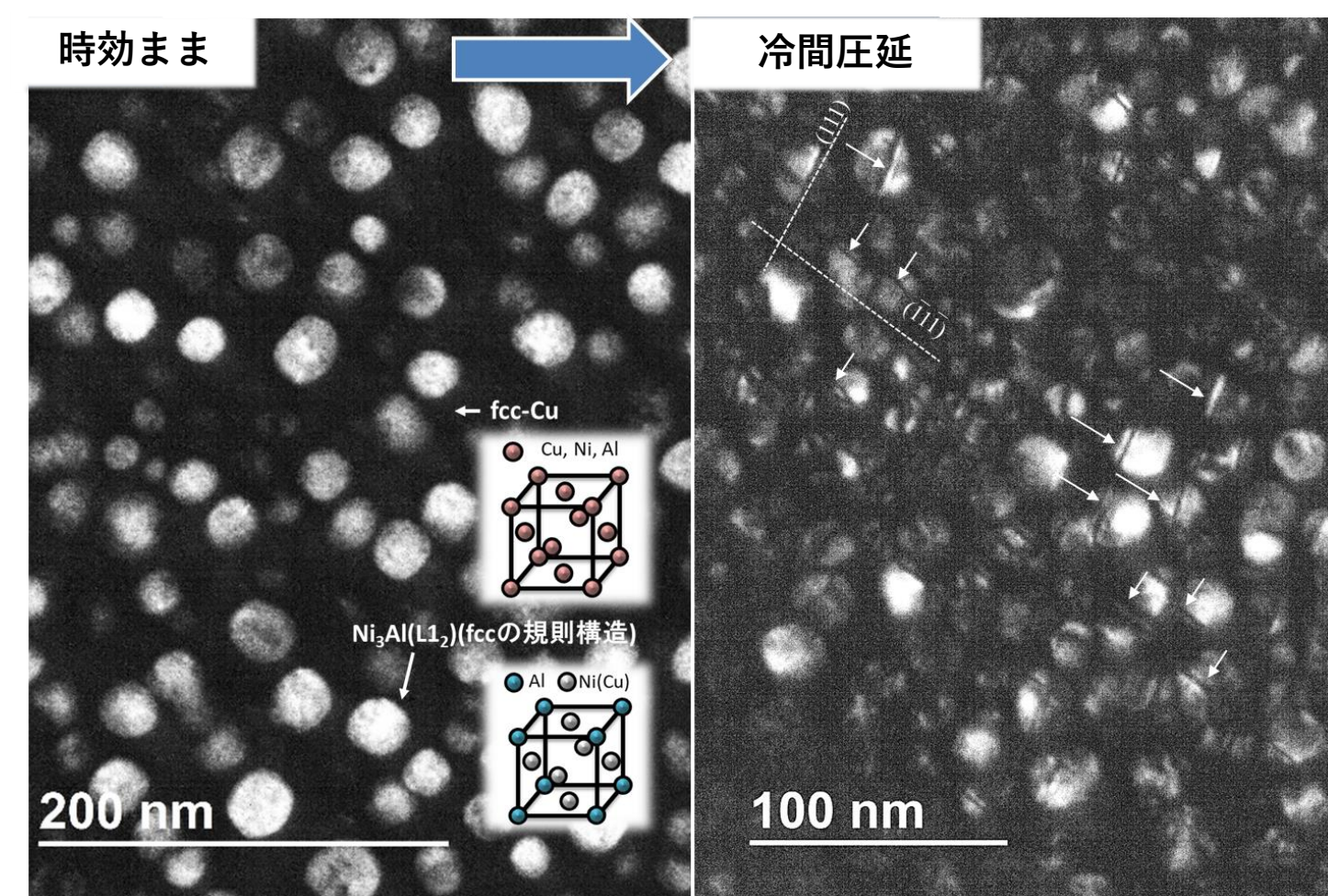
【図】 Cu-3.2 at.% Ti合金過時効材のダイス伸線加工にともなう組織の変化。伸線加工前は過時効処理によるセル状不連続析出物 (Cu/Cu₄Tiラメラ組織) が試料全体を占有。(b) 伸線加工によって粗大な板状だったCu₄Tiが次第に湾曲、分断しながらナノファイバー化。これにより、顕著な高用度化が達成。

③ Cu-Ni-Al合金 時効材

Ni:Al=3:1の組成比をもつCu-Ni-Al合金は、従来の溶体化－時効の工程だけでもビッカース硬さ300 Hvを越す高強度材になります。本グループでは、本時効材を更に冷間加工－低温時効に供することにより、ビッカース硬さ420 Hv、引張強度1400MPaを越すことを見出しました。本合金系は、ばね性や耐食性に優れること、製造性も良好であることなどの特徴があります。



【図】 本グループにて作成したCu-Ni₃Al擬二元系状態図



【図】 (a) Cu-20 at.% Ni-6.7 at.% Al合金時効材の微細組織。銅母相中に粒状Ni₃Al (大きさ約20 nm) が微細分散。(b) 同合金冷間圧延材の微細組織。圧延加工により粒状Ni₃Alがせん断され分断化、規則度の低下が起こる。強圧延後に低温時効することによりNi₃Al粒子の規則度の回復と加工硬化の効果により高強度化。

[*] Y. Abe, S. Semboshi, N. Masahashi, S.H. Lim, E.-A. Choi, S.Z. Han, "Mechanical strength and electrical conductivity of Cu-In solid solution alloy wires", submitted to Metall. Mater. Trans. A.

[*] S. Semboshi, Y. Kaneno, T. Takasugi, N. Masahashi: Metall. Mater. Trans. A, 49 (2018) 4956-4965. [*] S. Semboshi, Y. Kaneno, T. Takasugi, S.Z. Han, N. Masahashi: Metall. Mater. Trans. A, 50 (2019) 1389-1396.

[*] S. Semboshi, T. Anno, Y. Kaneno: J. Alloys Compd., 921 (2022) 166124. [*] S. Semboshi, R. Hariki, T. Shuto, H. Hyodo, Y. Kaneno, N. Masahashi: Metall. Mater. Trans. A, 52A (2021) 4934-4945.