太陽電池パネルガラスのリサイクル研究

愛媛大学　大学院理工学研究科
材料スコープ工学 研究室
武部 博倫

アウトライン

□リサイクルガラス研究に至った経緯

□太陽電池パネルガラスのリサイクル研究

□リサイクルガラス研究　今後の展開

アウトライン

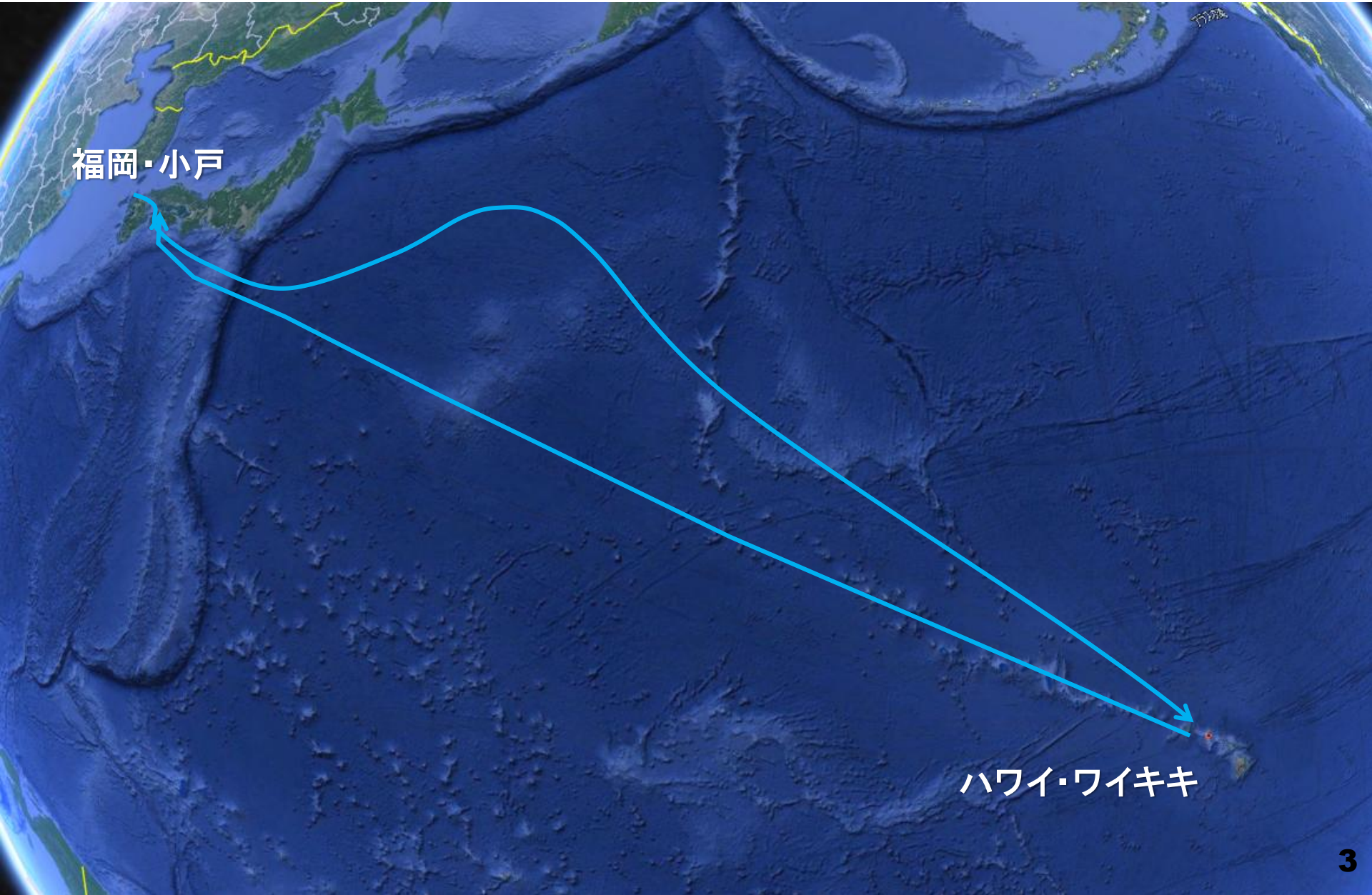
□リサイクルガラス研究に至った経緯

□太陽電池パネルガラスのリサイクル研究

□リサイクルガラス研究　今後の展開

(1) 地図・航路

Marie



(2) カーボンニュートラルの背景1

2022~「持続可能な社会検討学」(学部1回生講義資料より)

- 1970年代【人口増加・資源・汚染など】

  1972年　メドウズの「成長の限界」*

  *ローマ・クラブが発表した警告書(地球環境問題の原点を論じた先駆的な報告)

- 1980年代【環境問題】

  地球温暖化，オゾン層破壊，環境ホルモンなど

- 1990年代【資源・エネルギー・環境】

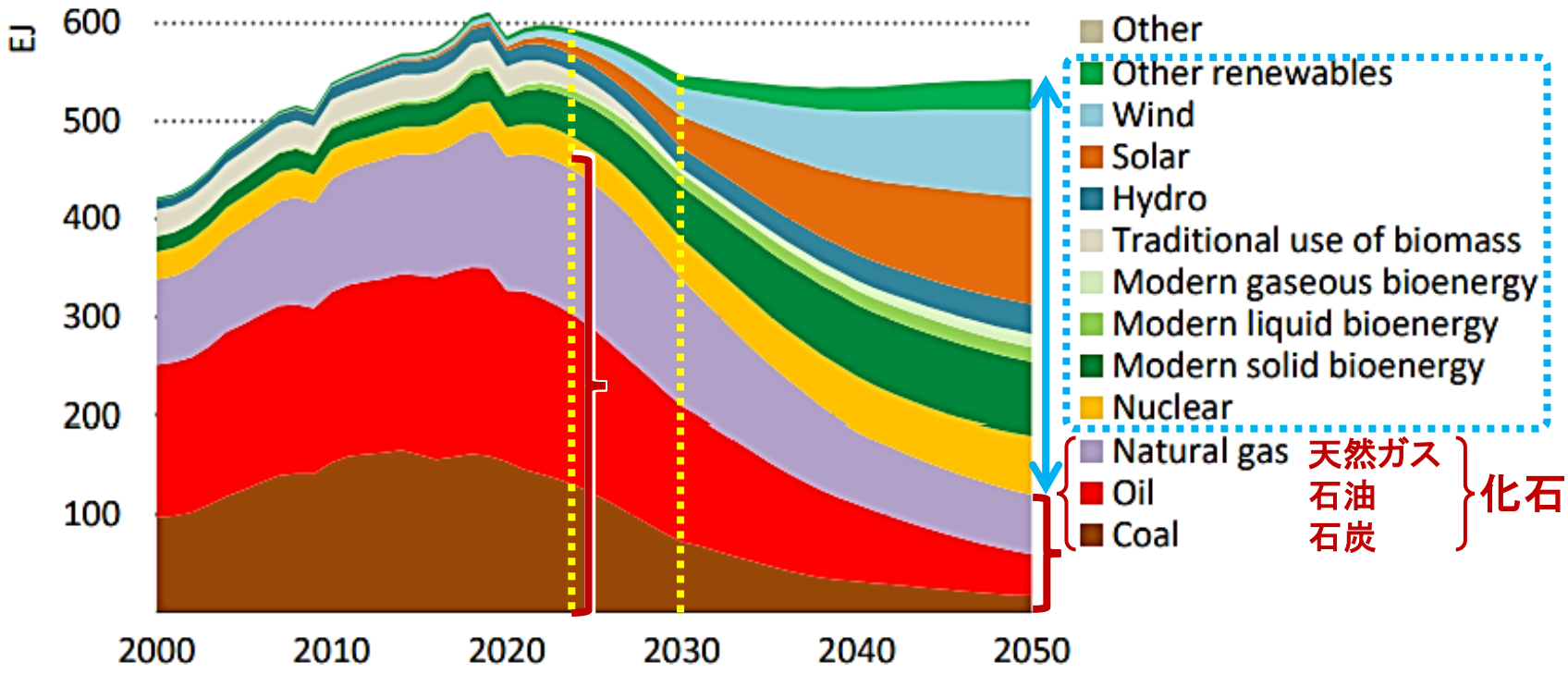
  地球環境の有限性

カーボンニュートラルの背景2

- 2000年代【持続可能な社会】Sustainable society
  資源リサイクル体制の新たなる確立
- 2010年代～【SDGs】Sustainable Development Goals
  SSGs? (Sustainable Shrinkage Goals?)
  共白髪の発想（もったいない）
- 2020年代【気候危機】Climate Crisis
  脱炭素社会　Carbon Neutral

Net Zero by 2050 (IEA: 国際エネルギー機関)

Figure 2.5 ▷ Total energy supply in the NZE



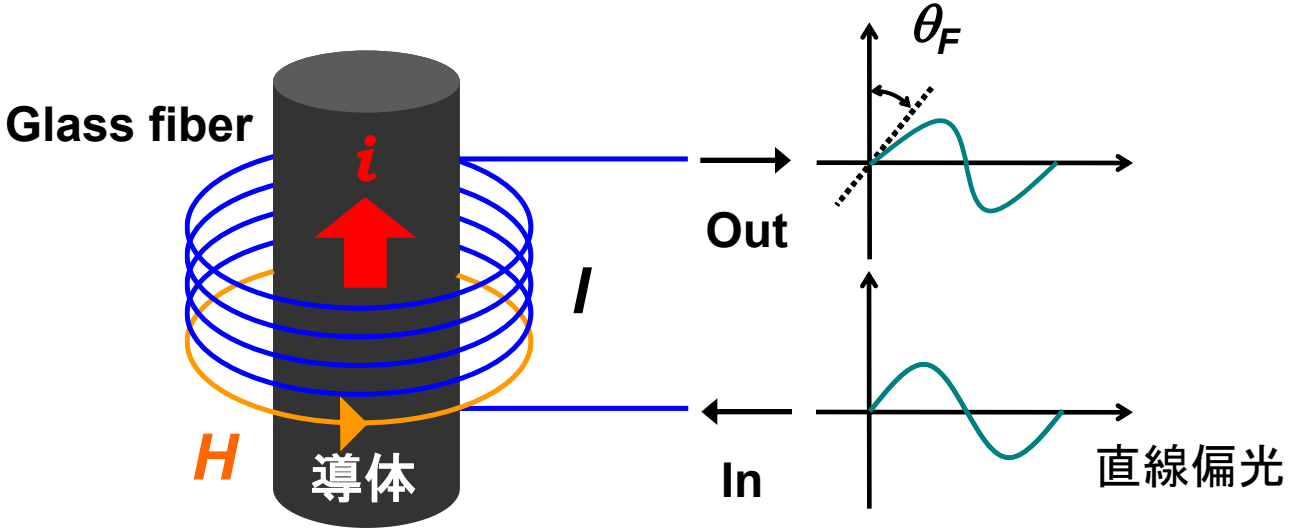
IEA. All rights reserved.

Renewables and nuclear power displace most fossil fuel use in the NZE, and the share of fossil fuels falls from 80% in 2020 to just over 20% in 2050

NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

(3) 光ファイバ電流センサ

ファラデー効果による高精度電流測定



$\theta_F = V \cdot H \cdot I \propto H \propto \boldsymbol{i}$ (V : ベルデ定数)

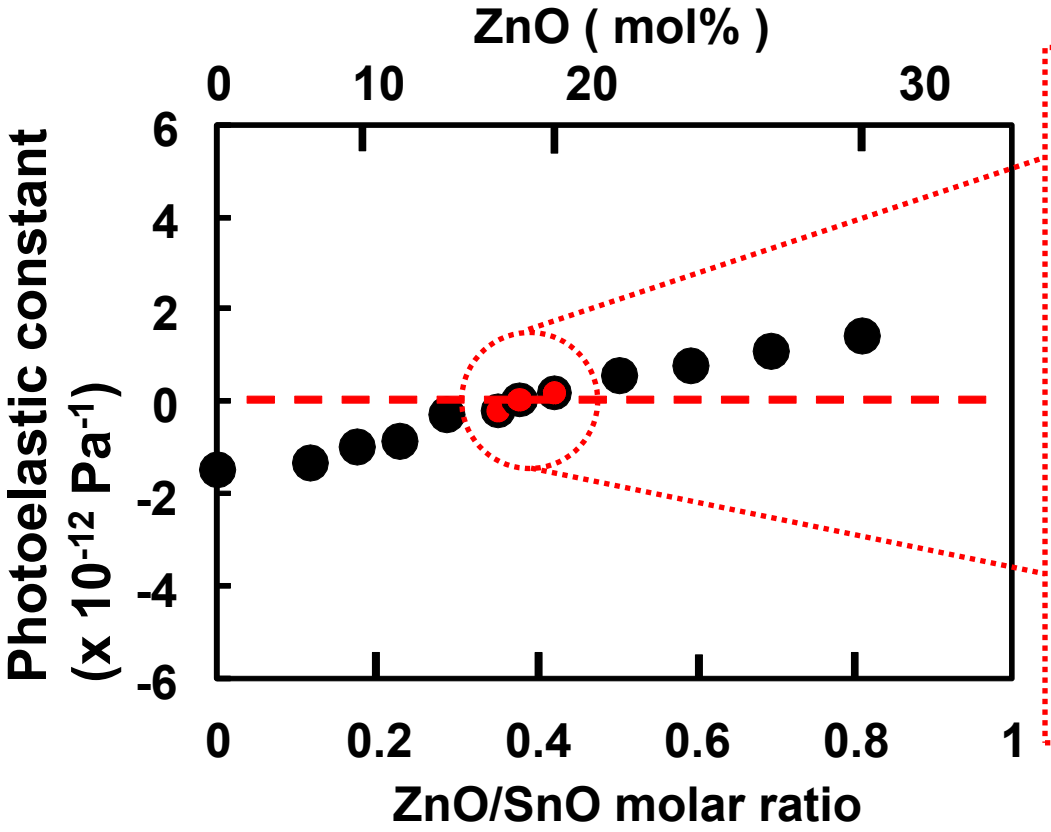
課題：ガラスの光弾性効果（光ファイバの巻き付けによる光透過特性の影響）により偏波面の回転が生じる

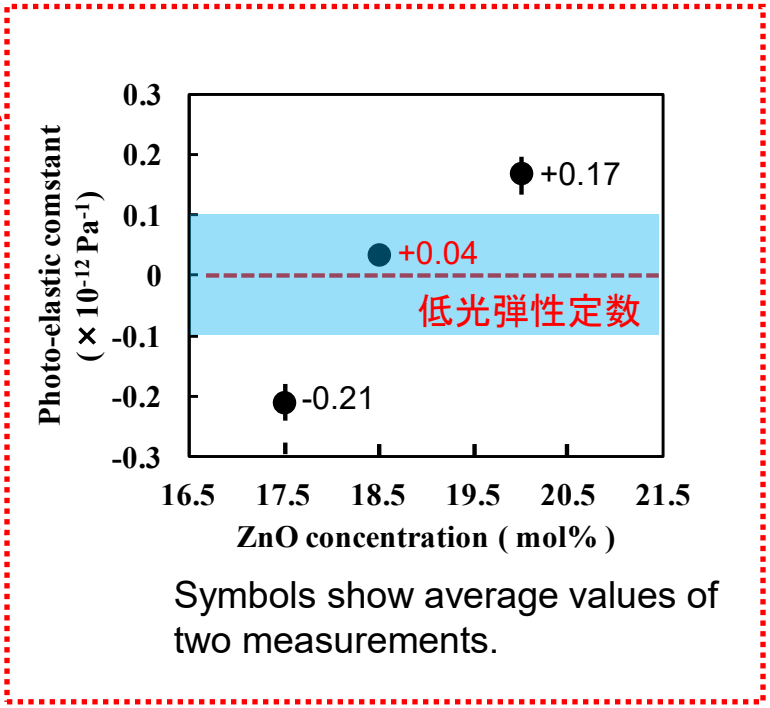
⇩

低光弾性ガラス（高PbO含有ケイ酸塩系）が必要

Ref. 黒澤 潔, “光ファイバ電流センサの開発と応用”, 静電気学会誌, 28,5,251-257(2004).

PbOフリーZnO–SnO–P_2O_5 glass





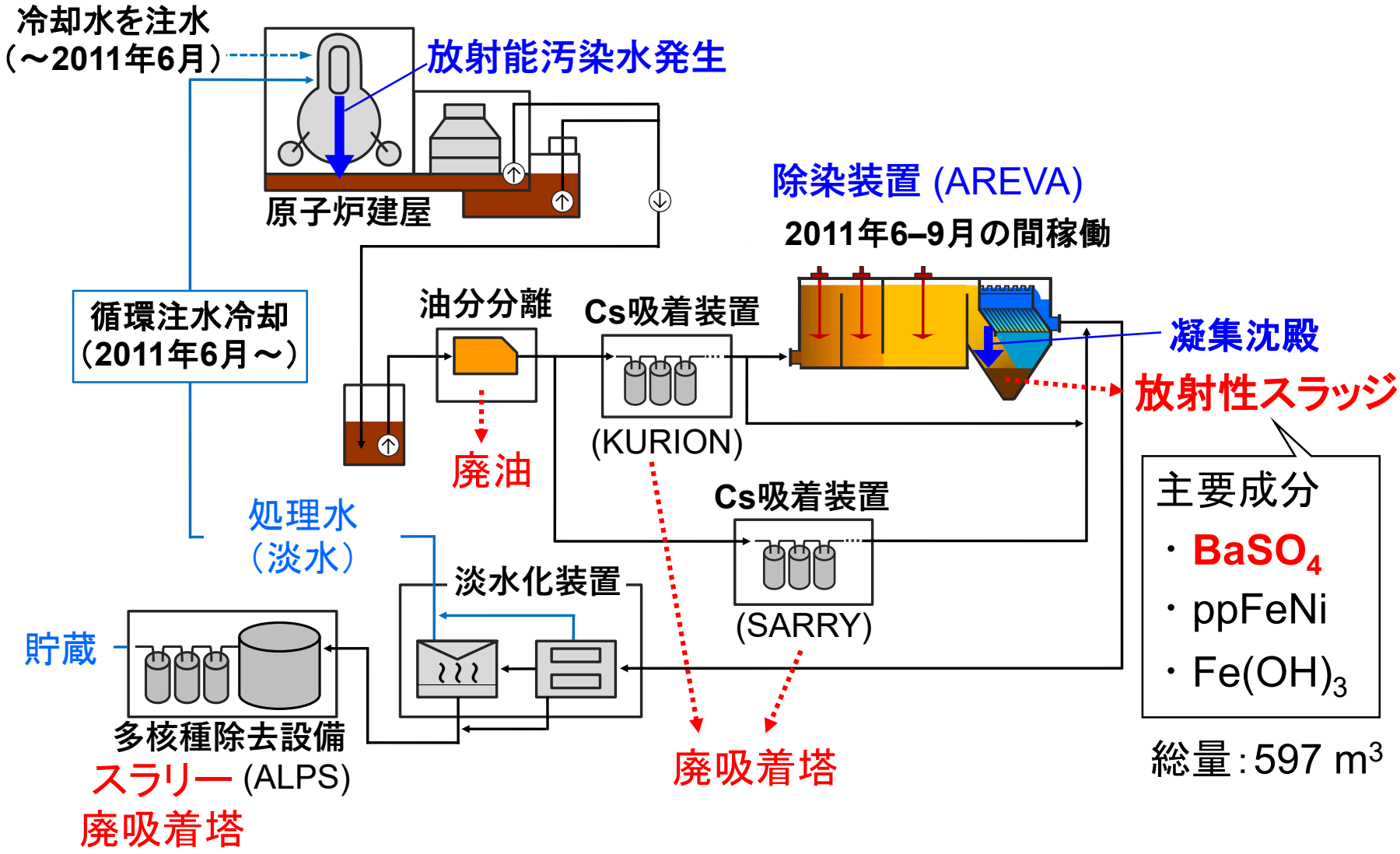
Symbols show average values of two measurements.

低光弾性定数 (< ± 0.1 × 10^{-12} Pa^{-1}) を実測

●**特許第5919867：低光弾性ガラスおよびこれを用いた光ファイバ（東京電力との共同出願）**

放射性廃棄物 減容化 プロジェクト

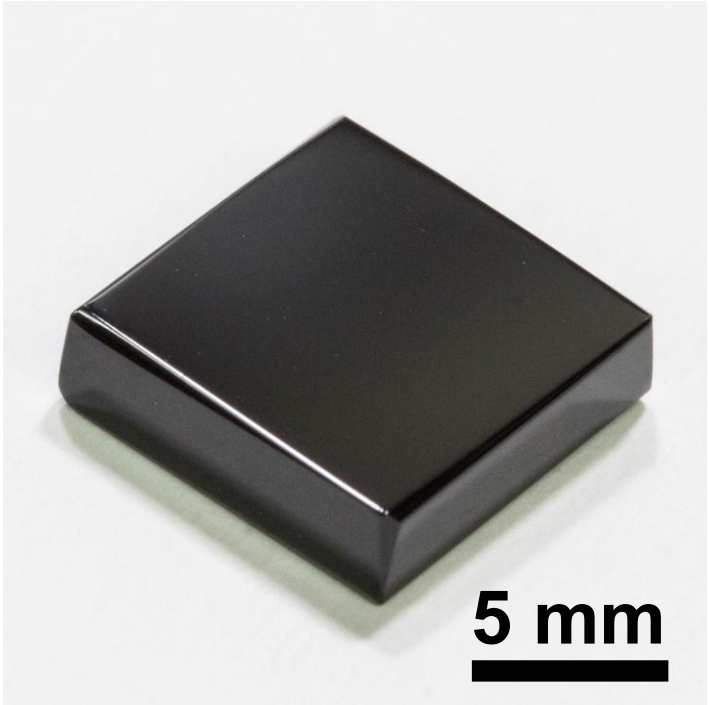
●福島第一原子力発電所の放射性凝集沈殿物 (Areva process)固定化PJ 2011–2013



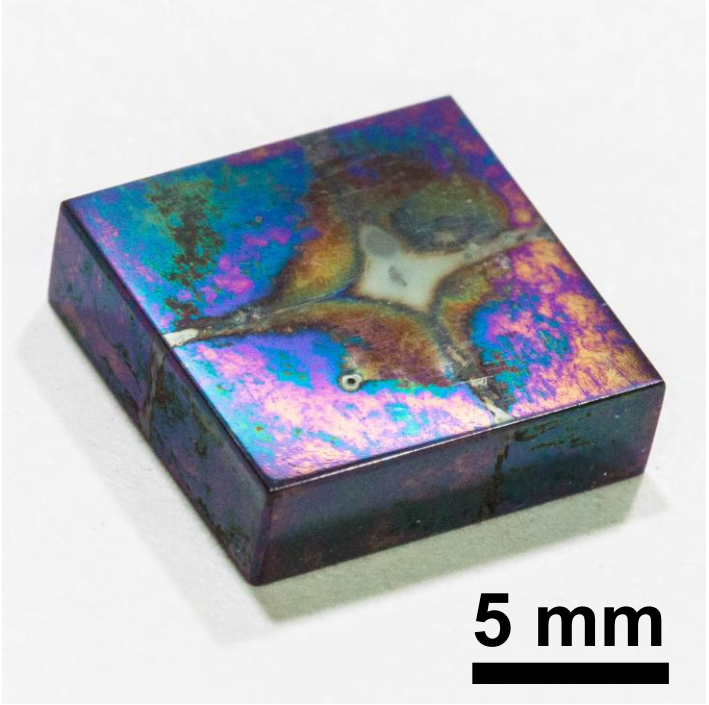
- 経済産業省 資源エネルギー庁 次世代再処理ガラス固化技術基盤研究事業 2014–2018
- 経済産業省 廃炉・汚染水対策事業費 2019–2022⇒新規鉄リン酸塩ガラスによるパイロットプラント試験 産学連携共同研究

放射性廃棄物 減容化 新規ガラス

$BaO–FeO–Fe_2O_3–P_2O_5$ glass



Before

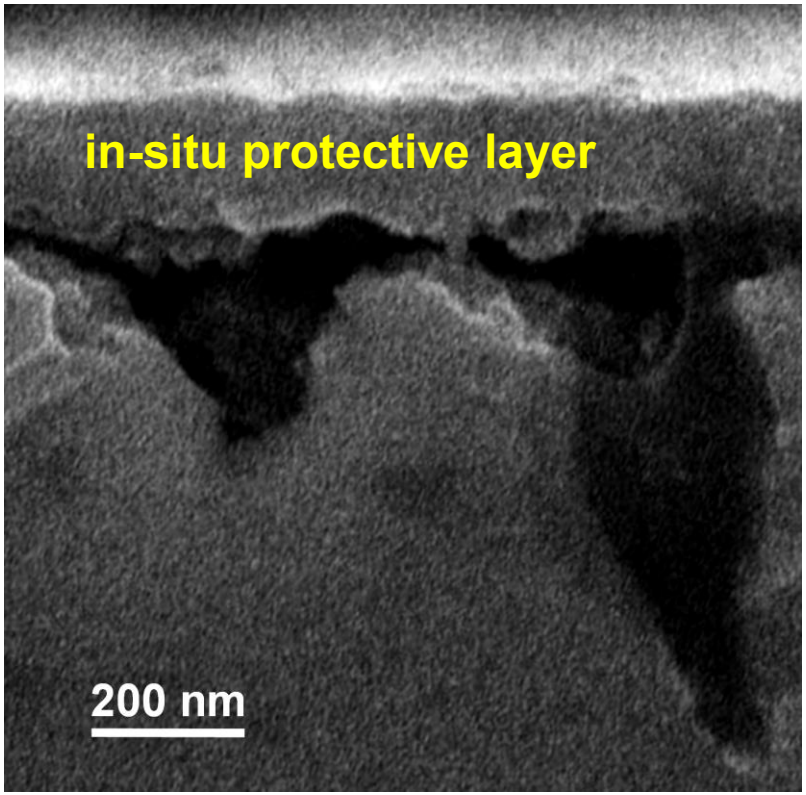


After

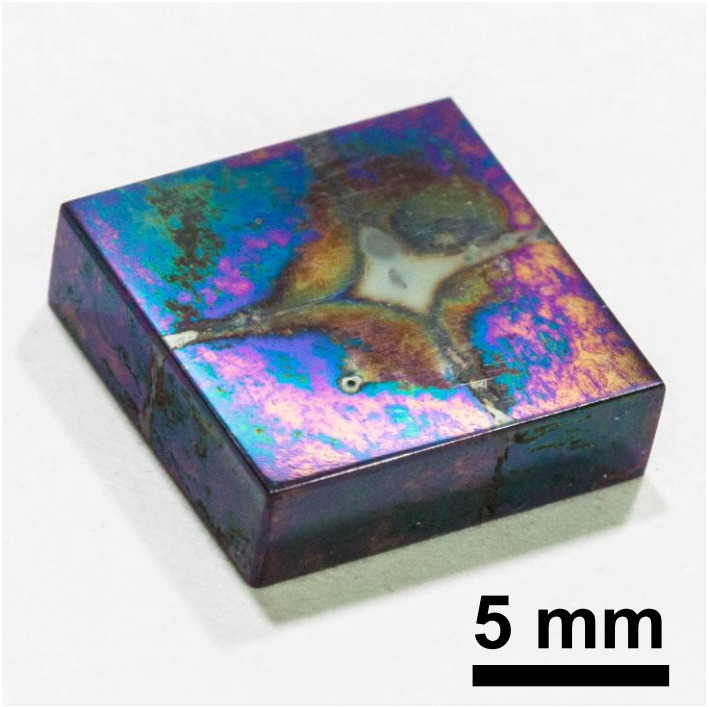
- H. Takebe, N. Kitamura, I. Amamoto, H. Kobayashi, T. Tsuzuki, N. Mitamura, “Compositional optimization of iron phosphate-based glasses for radioactive sludge”, Phys. Chem. Glasses: Eur. J. Glass Sci. Technol. B, **57** (2016) 213-217.
- N. Kitamura, T. Sakamoto, H. Takebe, “Effect of reaction layer on water durability in $BaO–FeO–Fe_2O_3–P_2O_5$ glasses”, Maters. Trans., **59** (2018) 437-442.
- A. Ihira, T. Sakamoto, A. Saitoh, H. Takebe, “Formation of Reaction Layer and Dissolution Behavior of Alkali and Alkaline-Earth Iron Phosphate Glasses in Water”, Materials Transactions, **61** (2020) 1842-1847.

放射性廃棄物 減容化 新規ガラス

$BaO–FeO–Fe_2O_3–P_2O_5$ glass



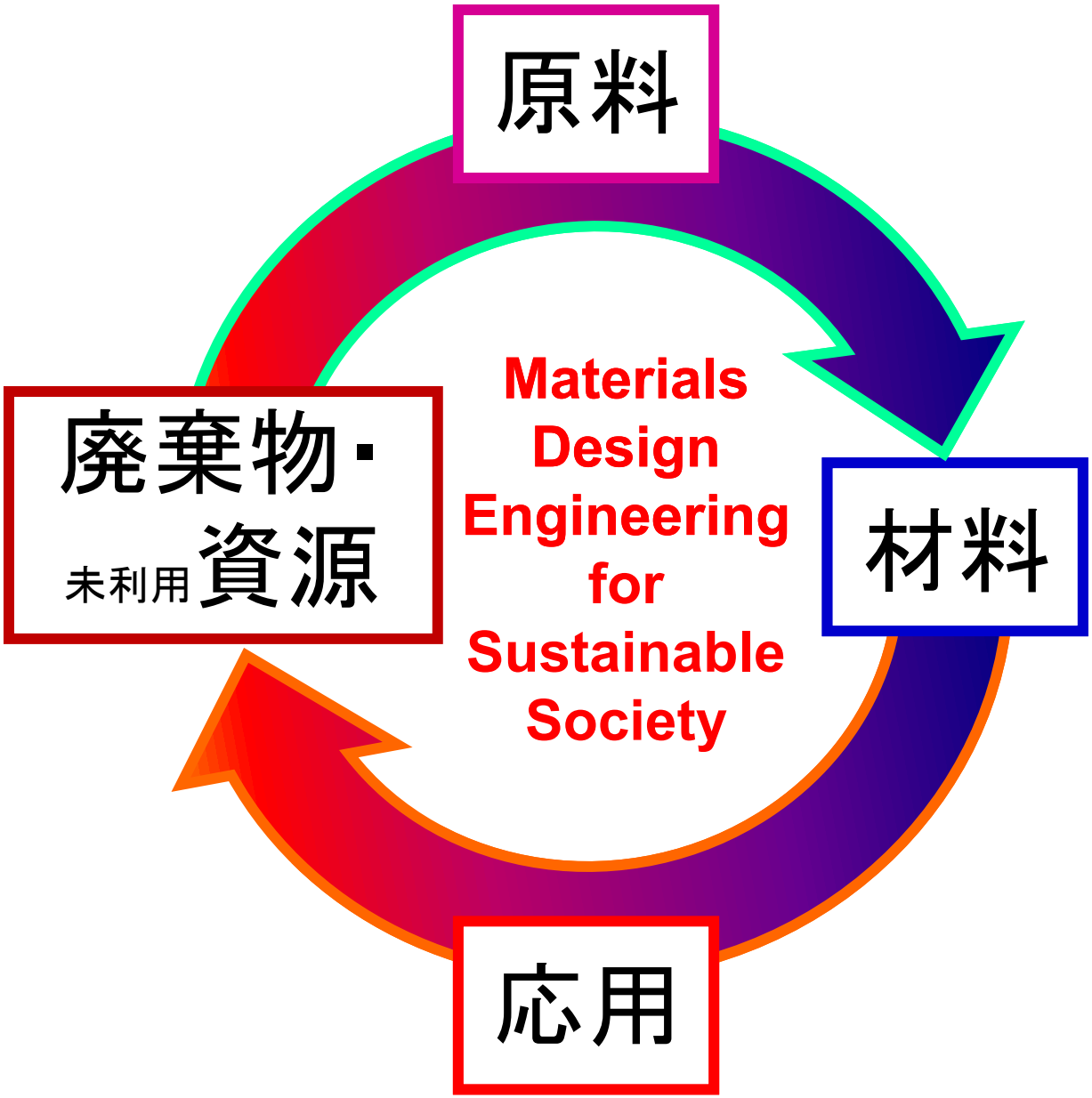
Microstructure observation by FE-SEM



After

- 特許第6292854：放射性廃棄物のガラス固化体及びその形成方法

資源循環型社会における素材・材料



アウトライン

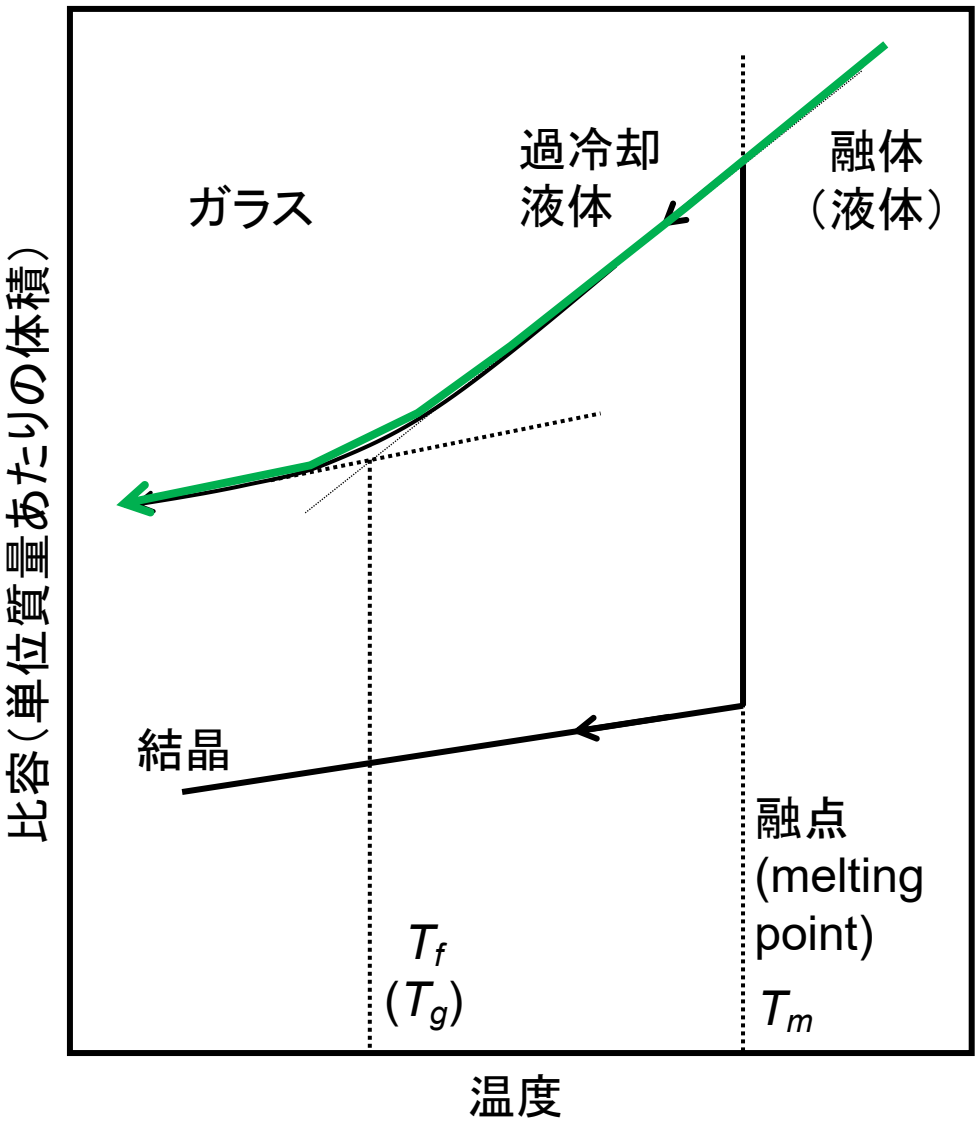
□リサイクルガラス研究に至った経緯

□太陽電池パネルガラスのリサイクル研究

□リサイクルガラス研究　今後の展開

ガラスとは何か？

1. ガラスの定義



ガラスは，ガラス転移を有する非平衡で非晶質の物質凝縮状態である。

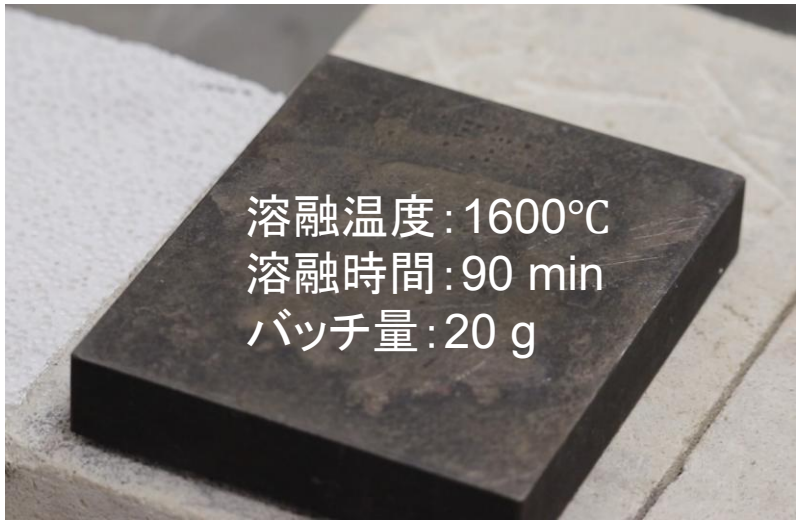
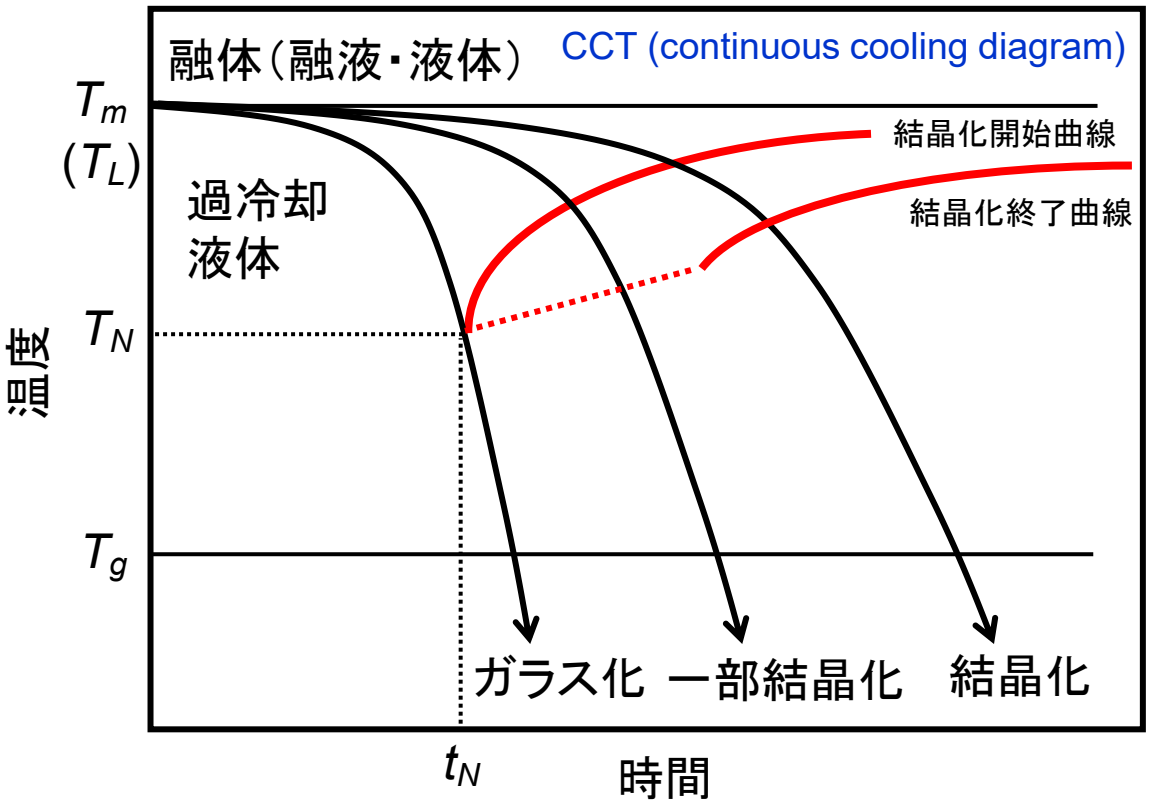


図 比容（比熱）と温度の関係．(時間軸を考慮していないことに注意)

2. ガラス形成の速度論

融体状態より結晶化することなく速やかに室温まで冷却することでガラス状態が得られる。

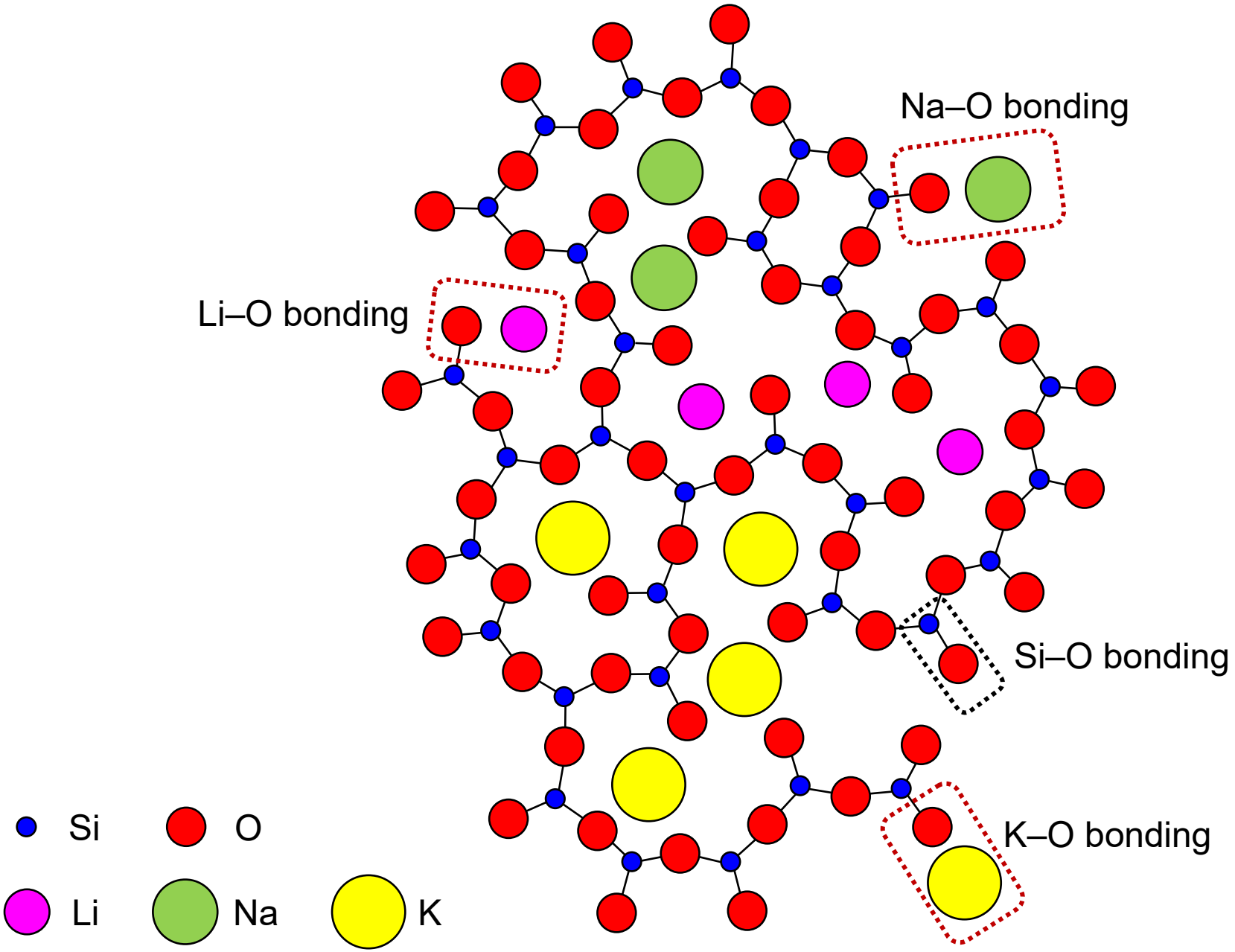
非晶質化に最小限必要な冷却速度Q_c



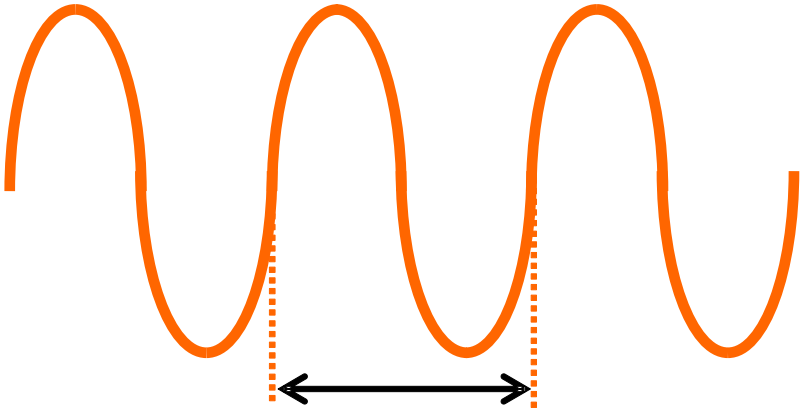
$$Q_c = (T_m - T_N)/t_N = f(\eta_N, T_L, \Delta S_M)$$

- η_N : ノーズ温度T_Nでの粘度
- T_L : 液相線温度
- ΔS_M : 融解のエントロピー

R_2O–SiO_2ガラスの構造模式図(R=Li, Na, K)

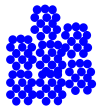


電磁波の波長とガラス構造のサイズの関係

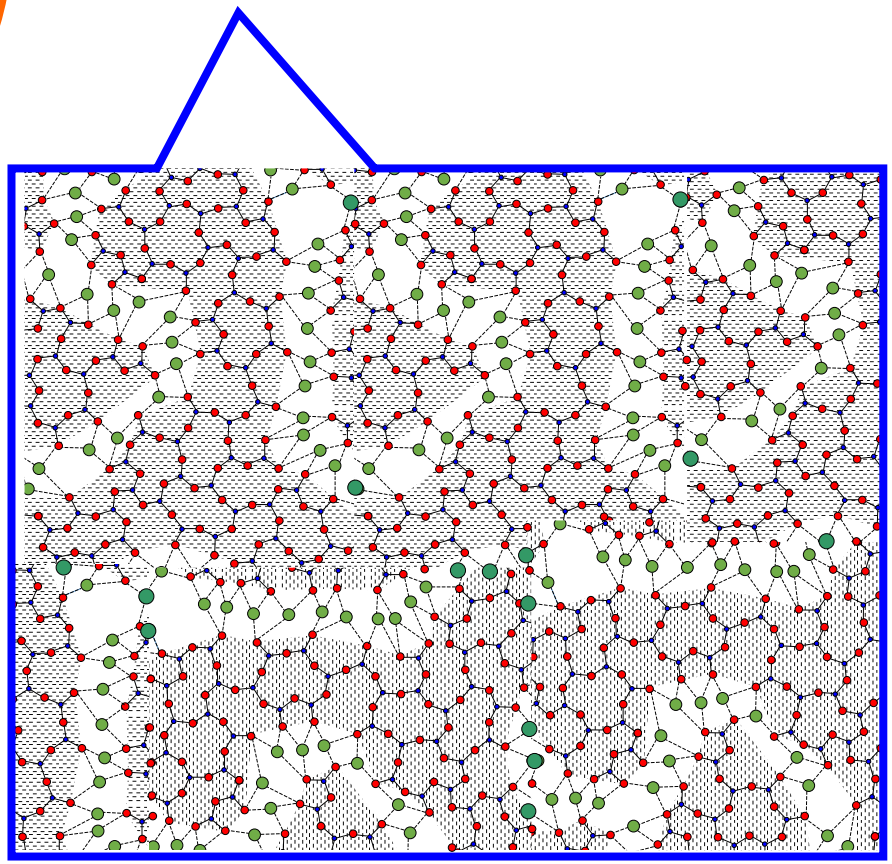


電磁波の波長

>>



ガラス構造





< = >

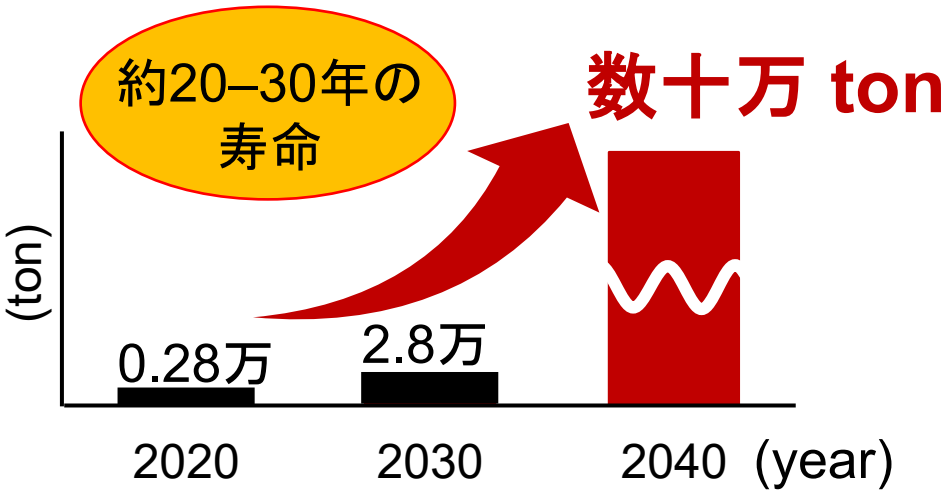
波 (wave)の波長
（電磁波）

図　太平洋・ハワイ諸島沖を進むヨット．著者（武部）は大学4年次にハワイで開催されたパンナムクリッパーカップに参加した．著者は写真の真ん中に写っている麻里絵（マリエ）号に乗っている．クルー仲間がオアフ島の陸（おか）の上からレース途中を撮影した．

太陽電池廃パネルガラスのリサイクル

2019年～

- 2040年代から大量のパネル廃棄物
- 重 量 の ≧ 60% は ガラス部



未解決課題:
Sb_2O_3清澄剤が廃ガラス中に残存
→リサイクルの妨げ

太陽電池廃パネルガラスを用いたゴールドルビーガラス (GRG) 開発

道後温泉本館
（～130年の歴史）
（国の重要文化財）

振鷺閣 赤いギャマン

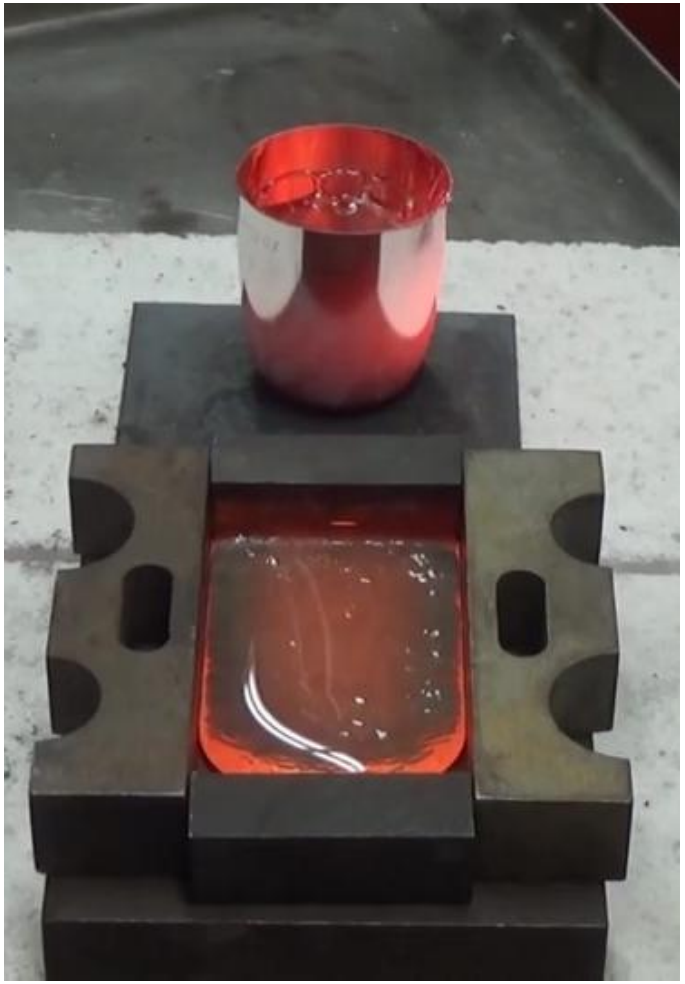


残存Sb_2O_3成分を金の還元剤に
利用できないか？

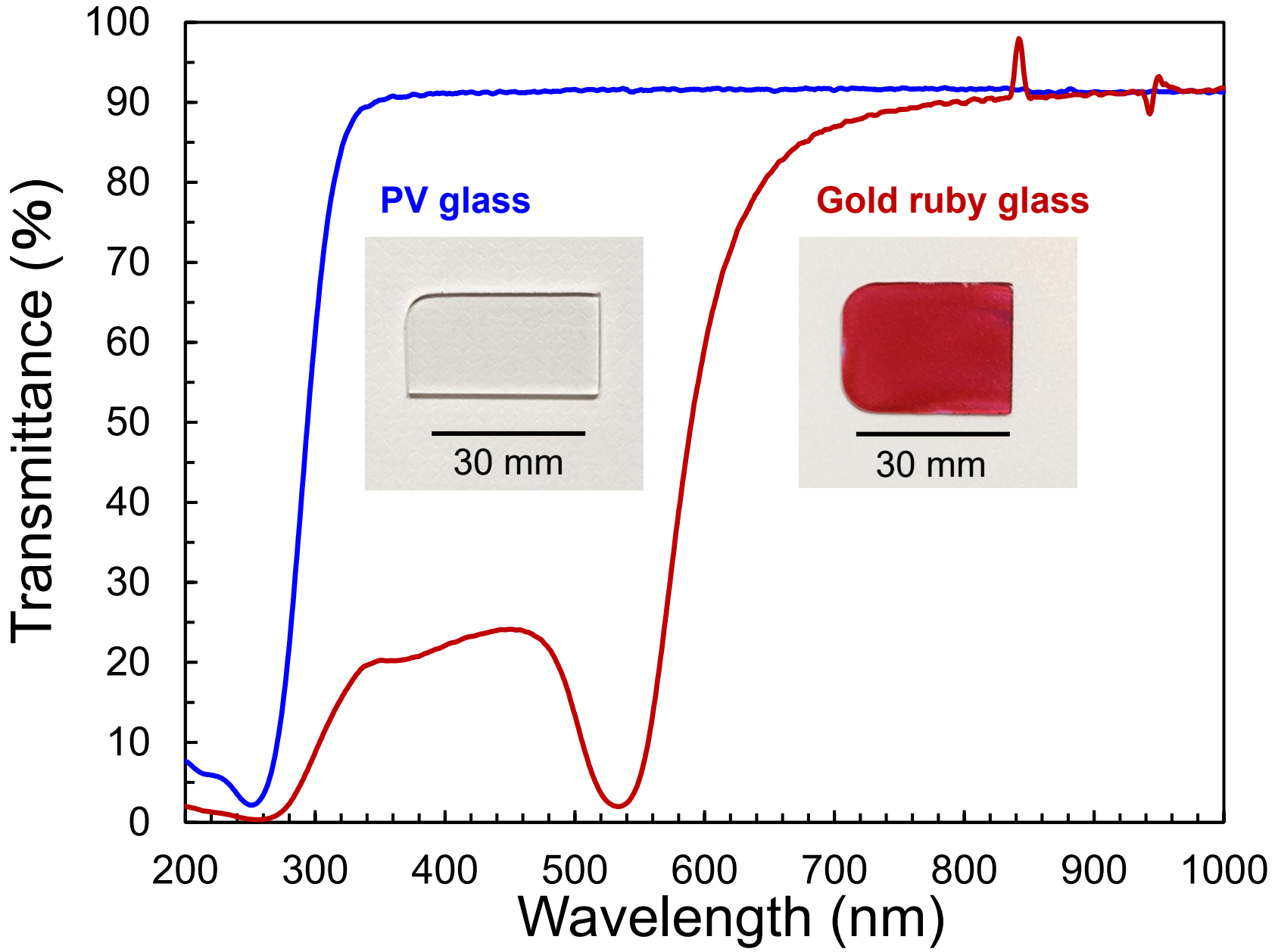
$\Rightarrow Sb^{3+}+2Au^{+}\rightarrow Sb^{5+}+2Au^{0}$

廃パネルガラス融体の流し出し

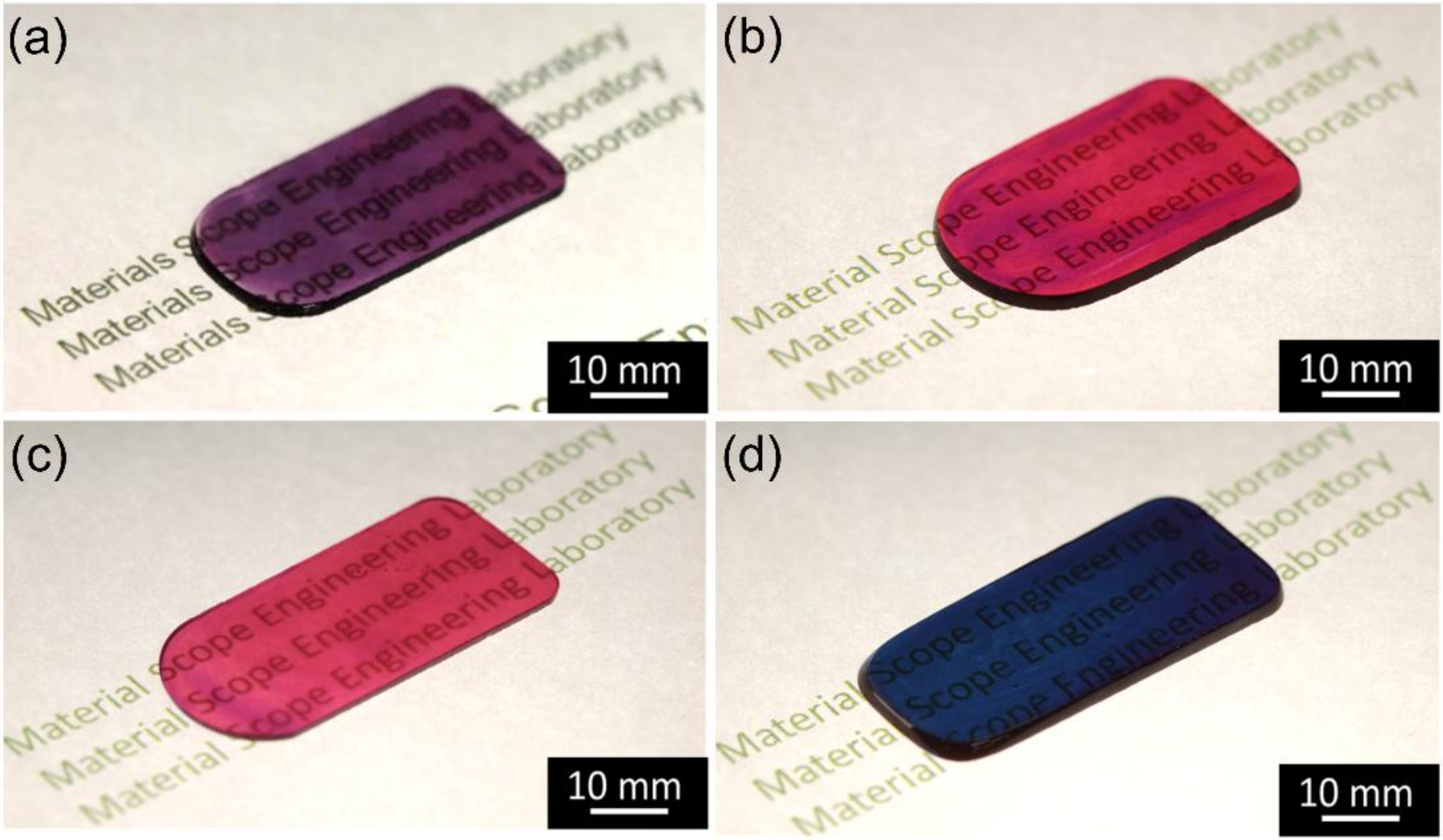




Remelted PVG and GRG 透過特性



GRG 外観



持続可能な道後温泉補助金 (2023年度)

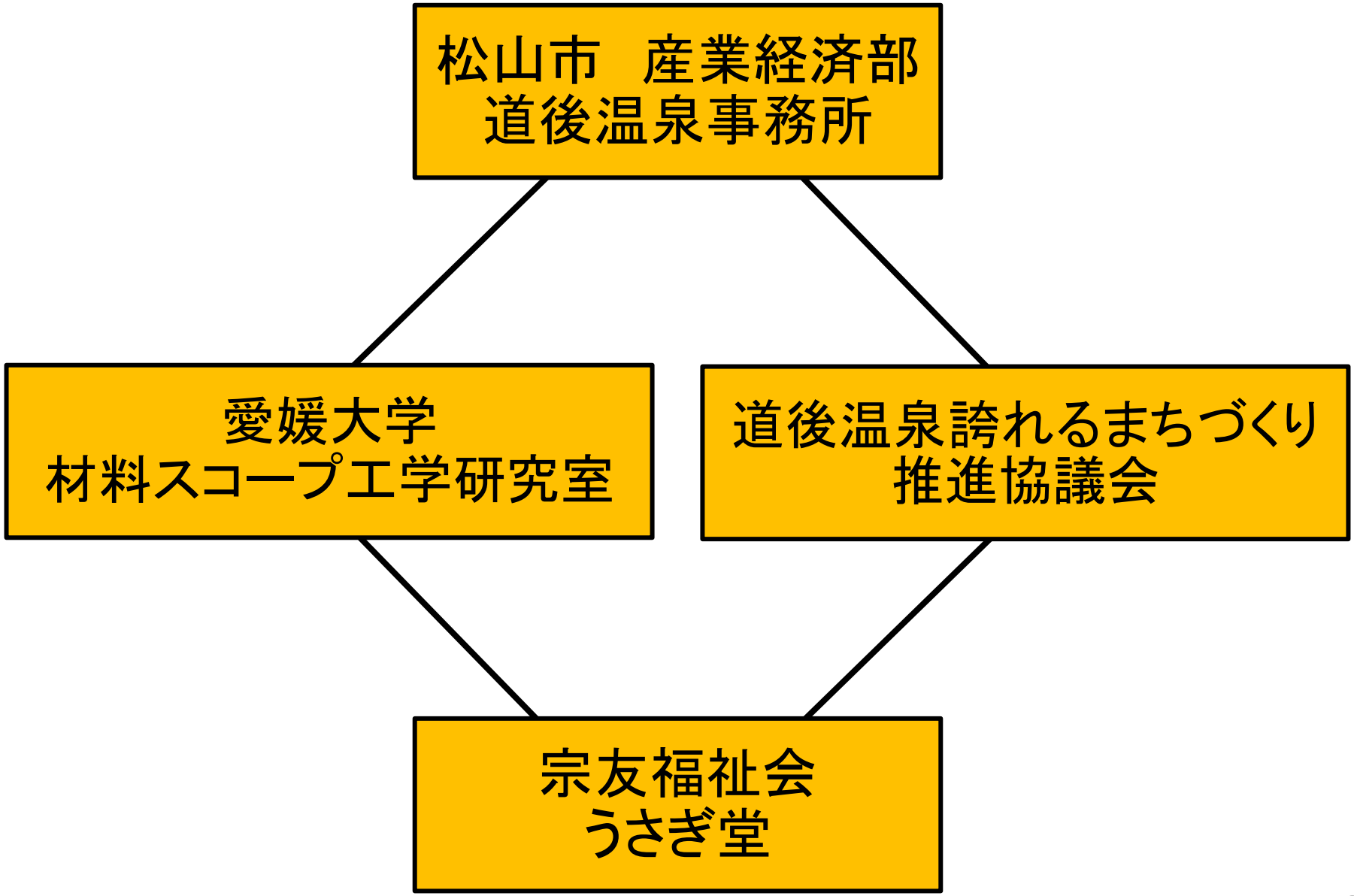
ゴールドルビーガラス（GRG）を用いた特徴的な道後温泉関連土産品（キーホルダーなど）を開発する。



道後温泉本館 | 外湯紹介 | 【公式サイト】道後温泉 (dogo.jp)/振鷺閣

- 酸化アンチモンの金イオン還元作用に注目
- 赤色ガラス（金赤、銅赤、セレン赤）の中でGRGは大気中溶融可・環境調和性に優れる。
- 毎朝、道後温泉界隈を散歩する中で着想 (2008~)

GRG靴箱キーホルダーPJメンバー



道後温泉本館靴箱（改装前）



一時のGRG靴箱キーホルダー
(2024.7.11~2026.3.31)













Gold Ruby Glass pen





ご清聴頂きありがとうございました。