

固体熱物性標準整備の現状 と 開発計画 —概要— —熱膨張率—

- ・標準整備計画の改定点
- ・熱膨張率標準に関する今年度のトピック：
 - 押し棒式膨脹計に関するデータ処理についての検討

産業技術総合研究所

山田修史

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

●新たな標準整備計画

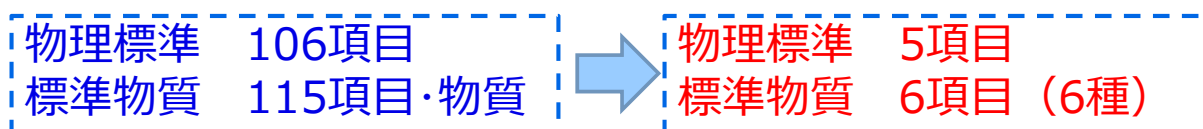
■H23.8に閣議決定の第4期科学技術基本計画において、新たな知的基盤整備計画の策定が求められ、知的基盤整備小特別委員会によりこれまで議論が進められている。（http://www.meti.go.jp/committee/qizi_0000003.html）

■昨年11月12日に産業構造審議会 産業技術分科会・日本工業標準調査会合同会議 知的基盤整備特別小委員会（第7回）において、

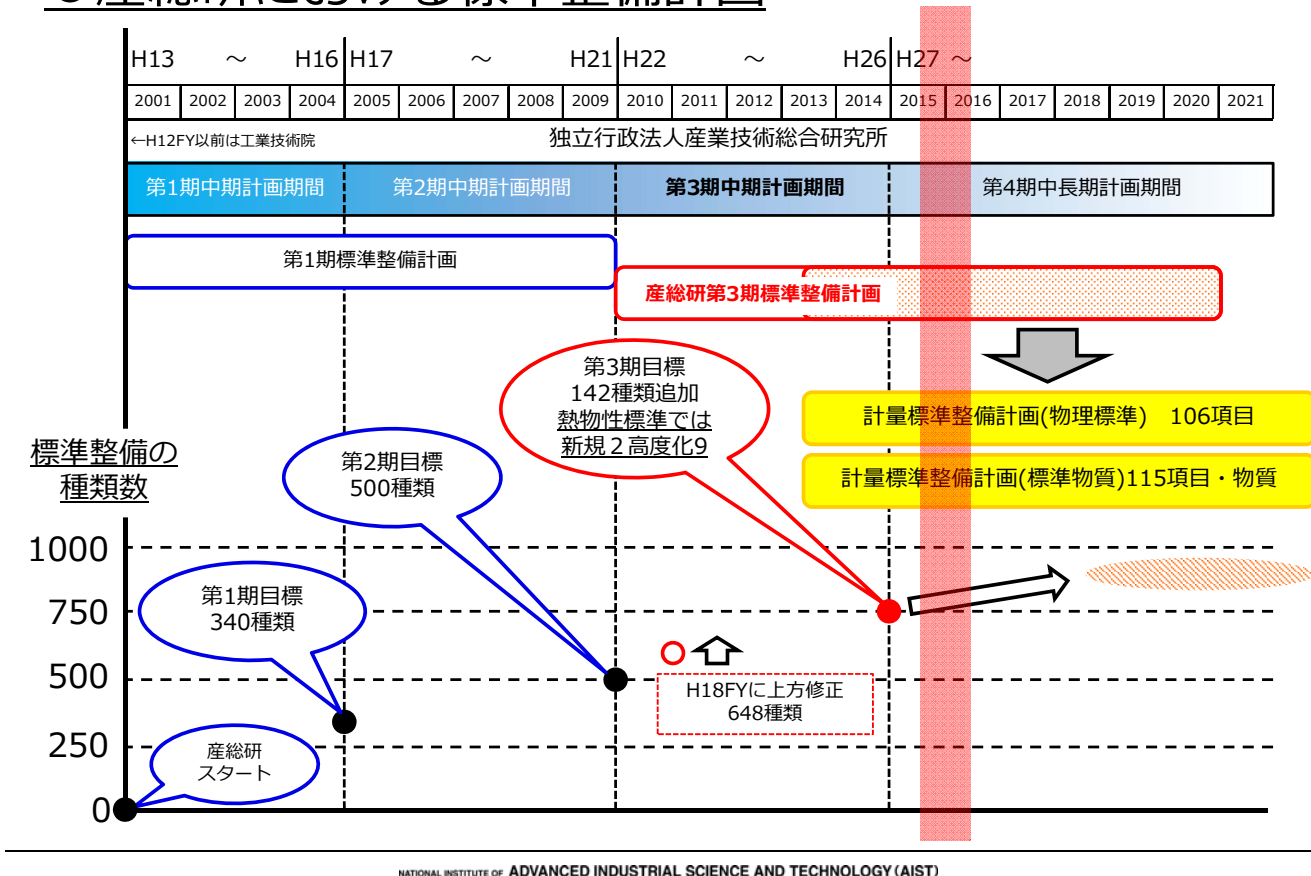
- ・物理標準に関する整備実績及び改定案；資料3-2
- ・標準物質に関する整備実績及び改訂案；資料3-3

（http://www.meti.go.jp/committee/summary/0003843/007_haifu.html）

熱物性関連として、



●産総研における標準整備計画



●物理標準に関する整備実績及び改定案より

項目 (単位)	校正器物	測定器	供給計画			
			供給範囲	H28 年度 まで	H29 年度 まで	H34 年度 まで
熱流密度 熱伝導率	熱流センサー 熱伝導率標準試料	熱流計 熱伝導率測定装置	室温 ・ H26年度まで： 熱流密度校正 (10 W/m ² ~数100 W/m ²) ・ H34年度まで： 新規標準物質 (数W/(m ² ・K))	◎		○
熱膨張率	熱膨張率標準試料	熱機械分析器(TMA) 各種膨張計	中高温 (300 K以上) ・ H29年度まで：黒色アルミナ (300 K~1700 K) ・ H34年度まで：石英ガラス (300 K~1000 K)		○	○
熱拡散率	熱拡散率標準試料	レーザフラッシュ法による熱拡散率測定装置 (周期加熱法による装置にも適用可)	中高温 (300 K~1500 K) ・ H26年度まで：黒色セラミックス ~10 ⁻⁵ m ² s ⁻¹ ; 1000 Kまで) ・ H34年度まで：新規標準物質 (10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹ ~10 ⁻⁵ m ² s ⁻¹ もしくは10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹ ~10 ⁻³ m ² s ⁻¹)	○		○
比熱容量	比熱容量標準試料	示差走査熱量計(DSC) 他各種熱量計	・ H34年度まで：断熱法の温度範囲拡大 絶対測定法開発による高度化			○
熱膨張率	ゲージブロック 固体ブロック	ゲージブロック 熱膨張率基準試験片	室温付近 (5 °C~35 °C) ・ H29年度まで：温度範囲拡大 (-20 °C~+60 °C) ・ H34年度まで：器物範囲拡大		○	○

http://www.meti.go.jp/committee/summary/0003843/pdf/007_03_02.pdfより抜粋

●標準物質に関する整備実績及び改定案より

物質・項目等	供給計画				想定される用途
	H28 年度 まで	H29 年度 まで	H34 年度 まで	供給 形態	
熱膨張率測定用 高熱膨張材料標準物質	済 H25			CRM	TMA装置等の校正および参照試料
熱拡散率測定用 黒色セラミックス標準物質	◎ H26			CRM	レーザフラッシュ法、光交流法等の装置の精度確認
熱拡散率測定用 金属薄膜標準物質	◎ H26			CRM又はRM	ピコ秒サーモリフレクタンス装置の校正, サーマリフレクタンスを用いた計測器用の薄膜標準物質
熱膨張率測定用 アルミナ標準物質		◎		CRM又はRM	TMA装置等の校正および参照試料
熱膨張率測定用 石英ガラス標準物質			◎	CRM又はRM	TMA装置等の校正および参照試料 低膨張を評価する熱膨張計の評価
熱伝導率測定用 金属薄膜標準物質			◎	CRM又はRM	ピコ秒サーモリフレクタンス装置の校正

http://www.meti.go.jp/committee/summary/0003843/pdf/007_03_03.pdfより抜粋

←ニーズ調査やユーザの要望を反映し、
定期的にローリングを実施

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

○熱膨張率標準に関する今年度のトピック

ー押し棒式膨脹計に関するデータ処理についての検討ー

●熱膨張率の測定をする現場での一つの問題

- JIS等の規格書の手順に従って評価したいが、
手持ちの参照試料と試験される試料の長さが一致しない

(規格には長さが異なる場合の対処法は記載されていない)

- ・顧客の要求【←特定の寸法のもので評価したい
- ・試料製作での精度指定【←どの程度一致していればよいか？
- ・データ解析/結果の評価【←長さの違いによる影響はどの程度か？

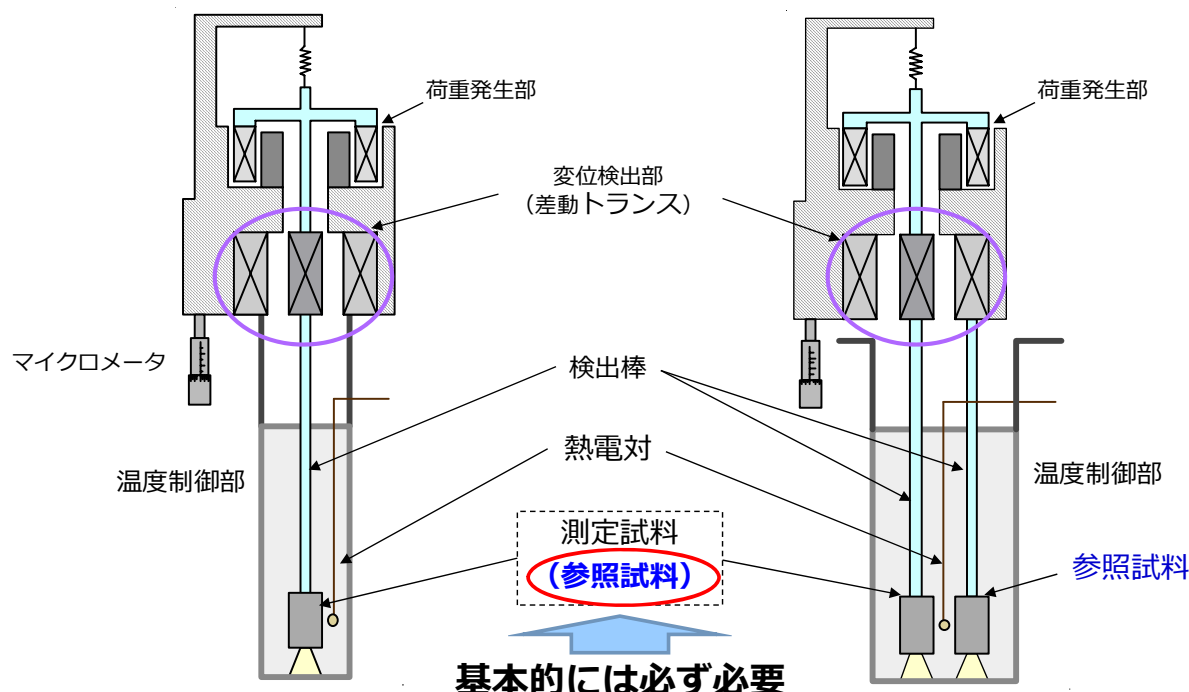


試料長さが異なる場合のデータ処理について検討した

○プッシュロッド式膨張計とTMAの構造

模式図：全膨張型

模式図：差動型



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

○PRDでのデータ処理手順 (JIS R1618を例として)

熱膨張率の決定手順 (差動式の場合)

① : (試料 + 参照試料A)による測定

$$\Delta L_{sp,m} = (\Delta L_{sp} - \Delta L_{refA}) + \Delta L_{bl}$$

② : (参照試料B + 参照試料A)による測定

$$\Delta L_{refB,m} = (\Delta L_{refB} - \Delta L_{refA}) + \Delta L_{bl}$$

①、②より

条件：試料と参照試料の長さは同一

$$\bar{\alpha}_{sp} = \frac{\Delta L_{sp}}{\Delta T \cdot L_0} = \frac{(\Delta L_{sp,m} - \Delta L_{refB,m})}{\Delta T \cdot L_0} + \bar{\alpha}_{refB}$$

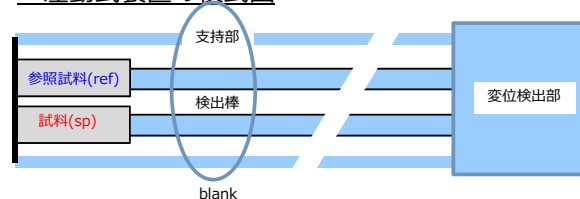
(全膨張式の場合)

$$\Delta L_{sp,m} = \Delta L_{sp} - \Delta L_{rod} + \Delta L_{bl}$$

$$\Delta L_{ref,m} = \Delta L_{ref} - \Delta L_{rod} + \Delta L_{bl}$$

$$\bar{\alpha}_{sp} = \frac{(\Delta L_{sp,m} - \Delta L_{ref,m})}{\Delta T \cdot L_0} + \bar{\alpha}_{ref}$$

■ 差動式装置の模式図



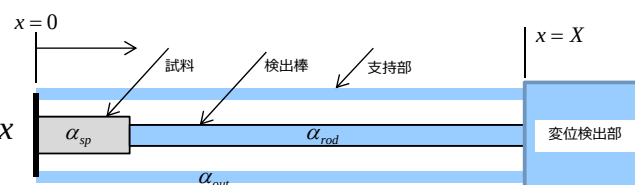
■ 各規格書内での該当する記載

- R1618-2020 : ファインセラミックスの熱機械分析による熱膨張の測定方法
5.2 参照試料 . . . 線膨張率が既知のものとし、試料と同じ形状及び寸法望ましい。 . . .
- Z2285-2003 : 金属材料の線膨張係数の測定方法
5.2 標準物質 a)形状及び寸法 試料と同一形状、同一寸法とすることが望ましい。
- K7197-1991 : プラスチックの熱機械分析による線膨張率試験方法
7. 操作(8) 試験片と同じ長さの線膨張率があらかじめ分かっている長さ校正用の試験片を . . .
- R3102-1995 : ガラスの平均線膨張係数の試験法
2. 用語の定義(3)伸びの差 試験片と同一長の石英ガラスを . . .

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

○PR膨脹計の計測モデルの検討

熱電対の指示温度を T_1 から T_2 変化させたときの変位検出部で検出される変位量を考える。



$$\Delta L_m(T_1, T_2, L_0) = \int_0^X \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_{in}(t, x) - \alpha_{out}(t, x)) dt dx$$

条件: $\alpha_{in}(t, x) = \alpha_{sp}(t); 0 \leq x \leq L_0$
 $= \alpha_{rod}(t, x); L_0 \leq x$
 (試料が均熱帯に入っている)

$$\Delta L_m(T_1, T_2, L_0) = (\bar{\alpha}_{sp} - \bar{\alpha}_{rod})(T_2 - T_1)L_0 + \int_0^X \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_{rod}(t, x) - \alpha_{out}(t, x)) dt dx \cdots (*)$$

$$\equiv \Delta L_{bl}(T_1, T_2)$$

(*) を求める測定を参照試料(ref)と試料(sp)について実施し、

$$\bar{\alpha}_{sp} = (\bar{\alpha}_{sp,m} - \bar{\alpha}_{ref,m} + \bar{\alpha}_{ref}) - \frac{\Delta L_{bl}(T_1, T_2)}{T_2 - T_1} \left(\frac{1}{L_{sp0}} - \frac{1}{L_{ref0}} \right)$$

長さが異なる場合に
出てくる項

ここで、 $\bar{\alpha}_{sp,m} \equiv \frac{\Delta L_{sp,m}(T_1, T_2, L_{sp,0})}{L_{sp0}(T_2 - T_1)}$, $\bar{\alpha}_{ref,m} \equiv \frac{\Delta L_{ref,m}(T_1, T_2, L_{ref,0})}{L_{ref0}(T_2 - T_1)}$

R1618の表式との対応

$$\Delta L_{sp,m} = \Delta L_{sp} - \Delta L_{rod} + \Delta L_{bl} \text{ at } \Delta T$$

$$(\Delta L_{ref,m} = \Delta L_{ref} - \Delta L_{rod} + \Delta L_{bl} \text{ at } \Delta T)$$

試験片の長さが異なると
先に進めない

$$\frac{\Delta L_{sp}}{L_0} = \frac{\Delta L_{sp,m} - \Delta L_{ref,m} + \Delta L_{ref}}{L_0}$$

$$\bar{\alpha}_{sp} = \frac{\Delta L_{sp}}{\Delta T \cdot L_0} = \frac{\Delta L_{sp,m} - \Delta L_{ref,m} + \bar{\alpha}_{ref}}{\Delta T \cdot L_0}$$

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

○PRDによる熱膨張試験実施手順

0) 試料と同じ長さ/形状の参照試料を準備し、指定の手順に準拠して試験を実施する

・・・ことが出来ない場合は以下、

1) 熱膨張試験機を用いて、試料と参照試料の熱膨張率を測定する

2)

3)

4)

5)

詳細に関しては、会合配付資料をご参照ください

6) 試料の長さ L_{sp0} と参照試料の長さ L_{ref0} を測定し、温度変化 $(T_2 - T_1)$ に対する、

$$\bar{\alpha}_{sp} = (\bar{\alpha}_{sp,m} - \bar{\alpha}_{ref,m} + \bar{\alpha}_{ref}) - \frac{\Delta L_{bl}(T_1, T_2)}{T_2 - T_1} \left(\frac{1}{L_{sp0}} - \frac{1}{L_{ref0}} \right)$$

$$\bar{\alpha}_{sp,m} \equiv \frac{\Delta L_{sp,m}(T_1, T_2, L_{sp,0})}{L_{sp0}(T_2 - T_1)}, \bar{\alpha}_{ref,m} \equiv \frac{\Delta L_{ref,m}(T_1, T_2, L_{ref,0})}{L_{ref0}(T_2 - T_1)}$$

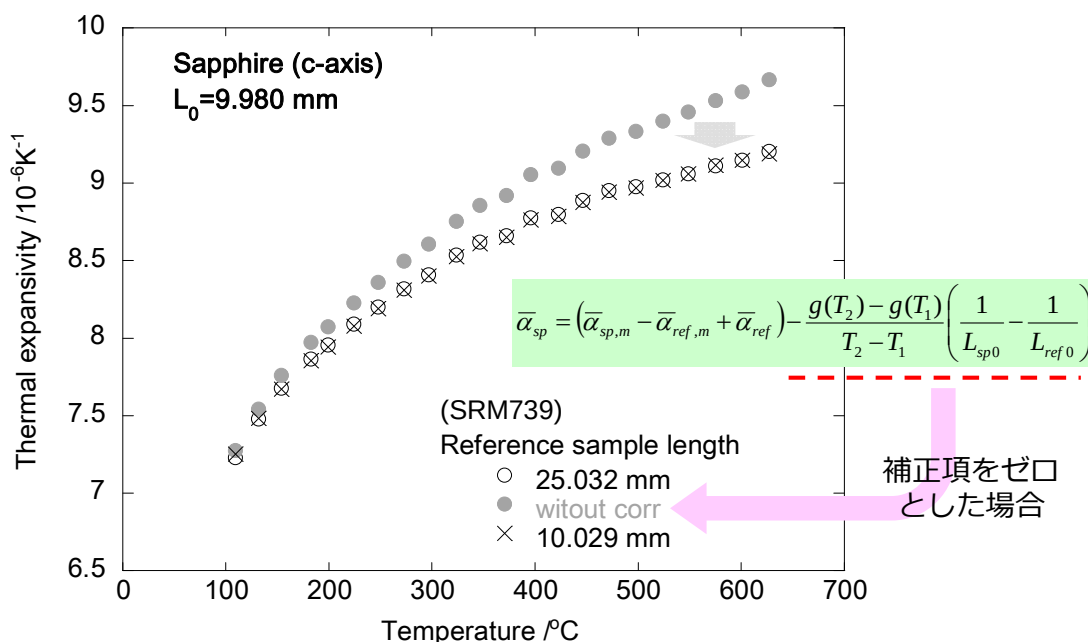
として、熱膨張率を求める。

適用条件は試料が完全に均熱帯にはいること

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

○有効性の検証 【実測データへの適用】

Sapphire試料($L_0 \sim 10\text{mm}$)の測定結果を L_0 の異なる参照試料の結果により処理する



・ 参照試料の長さが異なっても処理後の結果は良く一致

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

○まとめ

熱膨張評価の主要計測器であるプッシュロッド式膨脹計において、参照試料と被評価試料の長さが大きく異なる場合のデータ処理方法について考察/検討した。

計測モデルを検討し、試料長の異なる場合の補正項の導出手順を提案した。

提案した導出手順による補正項に関して実際の測定結果に対する検証結果は良好であり、当該補正項の導出手順の有効性が確認された。

ただし、実際の測定では標準試料が1つは必要。

平成27年度 固体熱物性クラブ全体会合 2016. 2. 5

於：秋葉原コンベンションホール

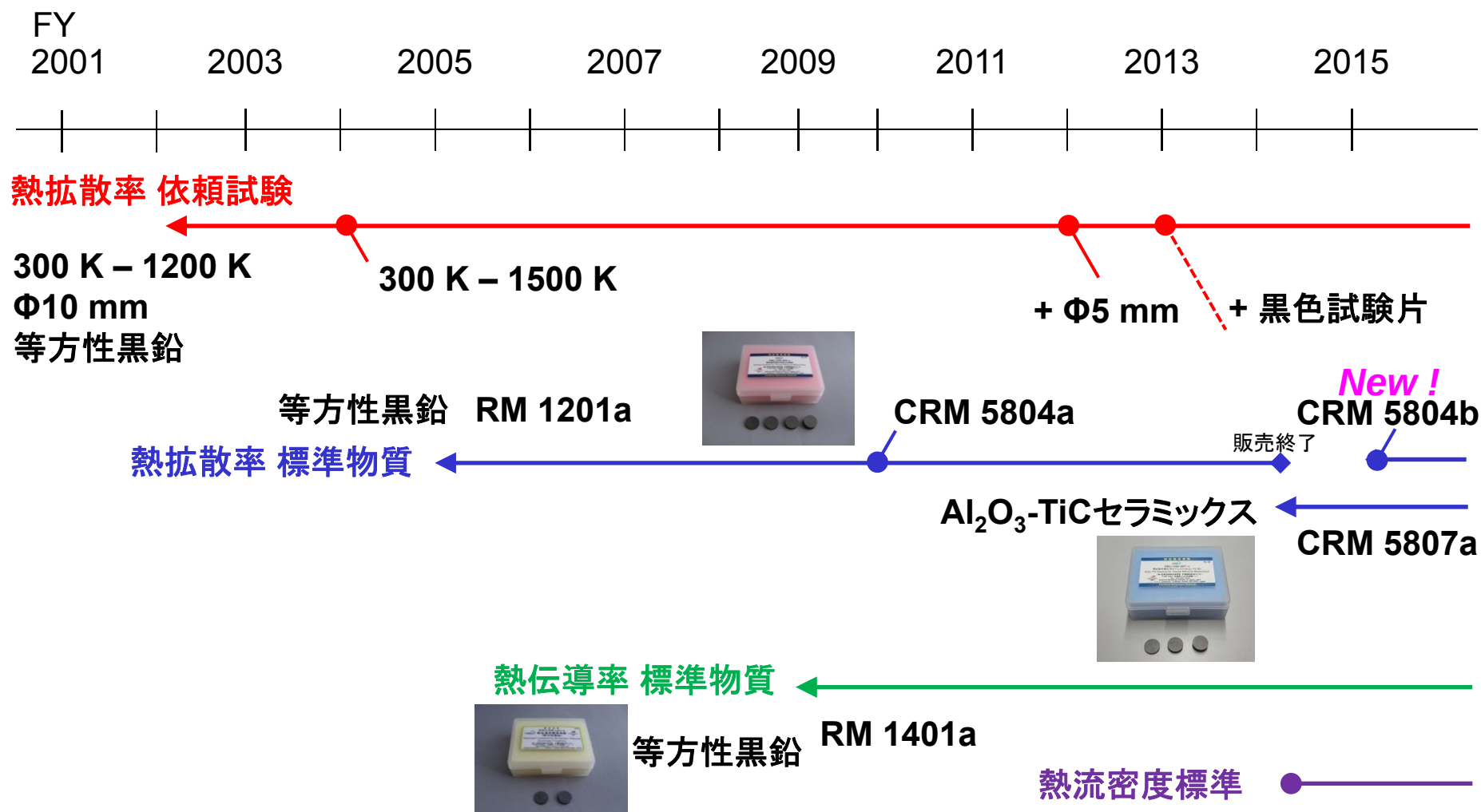
固体熱物性標準整備の現状と開発計画

熱流密度 熱拡散率／熱伝導率

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
物質計測標準研究部門 熱物性標準研究グループ
阿子島めぐみ

NMIJの熱拡散率・熱伝導率の標準整備の取り組み

主にレーザフラッシュ法を用いた熱拡散率の精密測定により標準整備を進めています。



熱流密度の標準

new

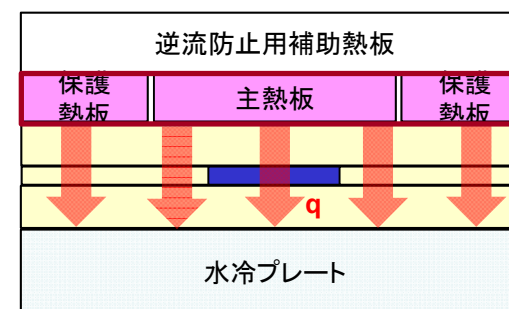
熱流密度 依頼試験 (Heat Flux)

- ✓ 対象: 平板状熱流センサ
- ✓ 形状: 平板状
(一辺が20 mm以上50 mm以内)
- ✓ 熱流密度範囲: $0 \text{ W/m}^2 < q \leq 100 \text{ W/m}^2$
- ✓ 測定条件: 室温
- ✓ 測定方法: 定常熱流法
- ✓ 不確かさ: 2.0%以上
- ✓ センサを中心に設置して周辺を断熱材で覆った外形200 mm角の平板の片面を約23 °Cとし、その反対面から熱流密度が既知の熱流を平板に与えた時のセンサの出力電圧を計測



2015年から供給開始(供給中)

- 評価用装置:
保護熱板(Guarded Hot Plate)法
参考: JIS A 1412-1, ISO 8302



フーリエの法則

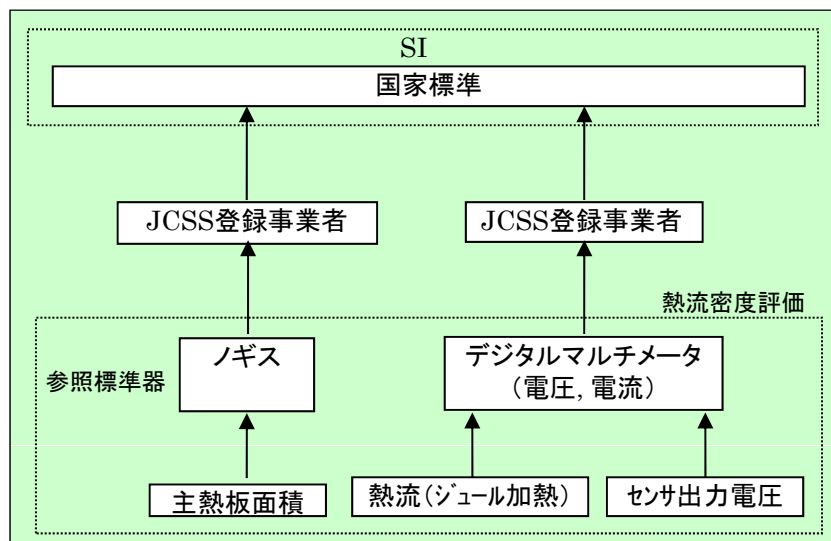
断熱真空下において、
平板状試験体(厚さ d 面積 A)に、
熱流 Q (=熱流密度 $q \times$ 面積 A)を与え、
温度差($\Delta T = T_1 - T_2$)が生じた定常状態で、

$$\text{熱抵抗: } R = \frac{T_2 - T_1}{\phi} A, \quad \text{熱伝導率: } \lambda = \frac{d}{R}$$

ϕ : 主熱板に供給される平均電力[W]

A : 主熱板の面積[m²]

d : 試験体の厚さ[m]



認証標準物質 NMIJ CRM-5804**b** (ロット更新) new

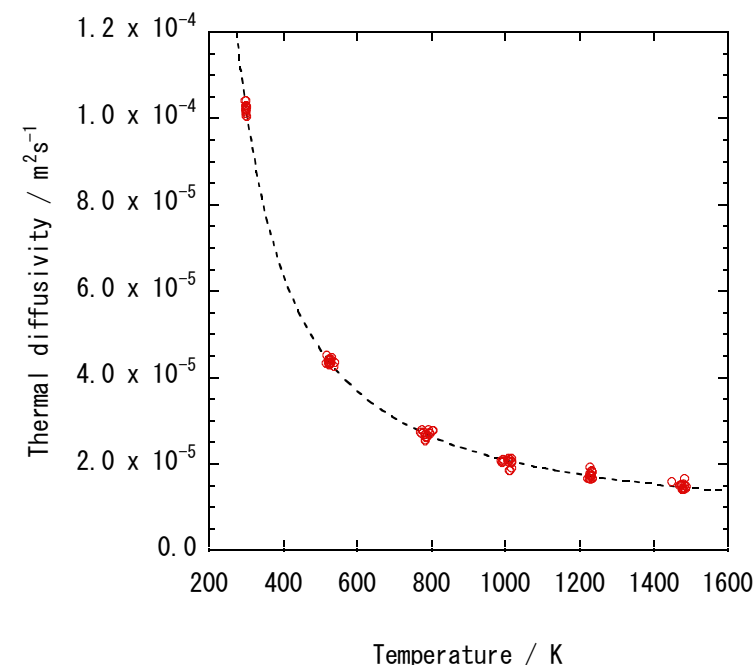
認証標準物質 NMIJ CRM 5804

熱拡散率測定用セラミックス(等方性黒鉛)

- ◆ 2014年春に第一ロット(5804**a**)が完売
- ◆ 2014年度から第二ロットの製造を開始
⇒ 2015年12月から再販開始(第二ロットのCRM5804**b**)



- CRM 5804bの概要
 - 材質: 等方性黒鉛
 - 4枚1組のセット:
直径10 mm × 1.4, 2.0, 2.8, 4.0 mm
 - 適用温度範囲 $300 \text{ K} \leq T \leq 1500 \text{ K}$
 - 熱拡散率
 $1.02 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \geq \alpha \geq 1.44 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
 - 相対拡張不確かさ $4.3 \% \leq U \leq 9.1 \%$



まとめ

依頼試験 (thermal diffusivity)

熱拡散率試験片の値付け

- ✓ 対象：黒色試験片
 - ※ 2012年までは等方性黒鉛のみ
 - ※ 2013年に汎用的に拡大
(黒化処理をした材料を含む)
- ✓ 形状：φ 5 mm または φ10 mm 円板
厚さ：1.0 mm - 4.0 mm
- ✓ 熱拡散率の範囲：
 $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 以上 $5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下
- ✓ 温度範囲：300 K – 1500 K
- ✓ 測定方法：レーザフラッシュ法
- ✓ 不確かさ：3.1%以上

熱流密度標準 (Heat Flux)

熱流センサの校正

- ✓ 対象：平板状熱流センサ
(1辺が20 mm以上、50 mm以下)
- ✓ 範囲： $0 \text{ W/m}^2 < \text{熱流密度} \leq 100 \text{ W/m}^2$
- ✓ 不確かさ：2.0 %以上
- ✓ 校正方法：定常熱流法(GHP法)
- ✓ 条件：室温
- ✓ 2015年秋から供給開始

(認証) 標準物質

new

NMIJ CRM 5804b (thermal diffusivity)

- ✓ 材質：等方性黒鉛
- ✓ 形状：φ10 mm × 1.4, 2.0, 2.8, 4.0 mm
- ✓ 温度範囲：300 K – 1500 K
- ✓ 特性値：熱拡散率
- ✓ 不確かさ：4.3 % – 9.1 %
- ✓ 2015年12月から頒布再開



NMIJ CRM 5807a (thermal diffusivity)

- ✓ 材質 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 系セラミックス
- ✓ 形状：φ10 mm × 1.0, 2.0, 3.0 mm
- ✓ 温度範囲：300 K – 1000 K
- ✓ 特性値：熱拡散導率
- ✓ 不確かさ：5.1 % – 8.1 %
- ✓ 2015年5月から頒布開始



NMIJ RM 1401a (thermal conductivity)

- ✓ 材質：等方性黒鉛
- ✓ 形状：φ10 mm × 1.0, 2.0 mm
- ✓ 温度範囲：300 K – 900 K
- ✓ 特性値：熱伝導率
(熱拡散率・比熱容量・密度)
- ✓ 不確かさ：7.2 % – 9.8 %



熱拡散率測定 ラウンドロビンテスト:

- レーザフラッシュ法のラウンドロビンテスト
 - JIS R1611改訂版の附属書を元にした精密測定
 - インヒレントな熱拡散率を求める測定方法
 - 不確かさ評価
 - 試料: 黒鉛(比較的熱拡散率が高い材料)
 - 測定条件: 室温(全ての試験片)
600 K, 800 K, 1000 K, 1200 K(1個以上)
 - スケジュール: 2015年 5月以降 試料配布・測定開始
2015年 11月～ 測定結果返信(結果の回収待ち)

参加機関: 10機関程度(AIST含む)

測定結果の返信をお待ちしています。引き続きよろしくお願いいたします。
最終的には学会発表等をさせて頂きたい考えです。

薄膜熱拡散率

- ✓ 熱拡散率標準物質
- ✓ 薄膜の熱伝導率の解析技術

産業技術総合研究所 物質計測標準研究
部門 熱物性標準研究グループ

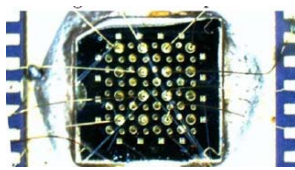
八木 貴志

薄膜材料の熱物性の需要

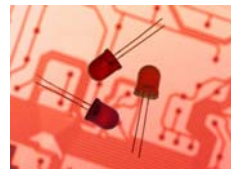
薄膜は、広くエレクトロニクス関連に用いられる基本素材



LSI



Power device



Lighting



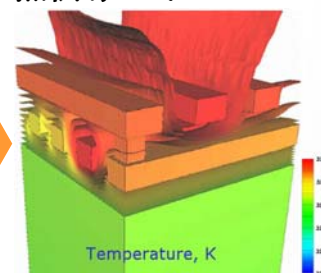
Flat panel display

熱物性値

- 熱伝導率 (熱エネルギーの流れ方)
- 熱拡散率 (温度の伝わり方)
- 比熱容量 (温度の上がり方)



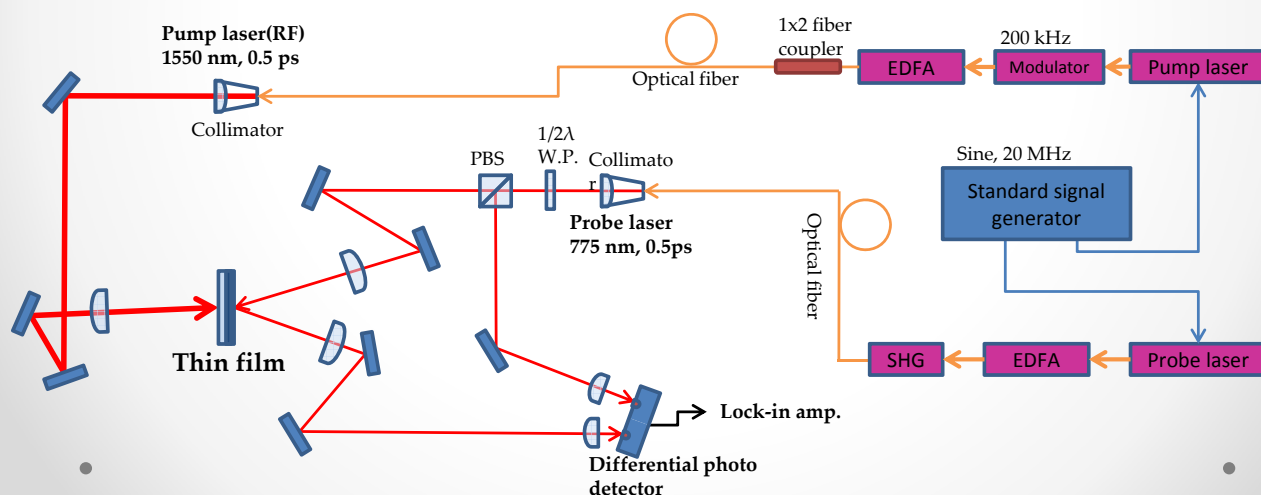
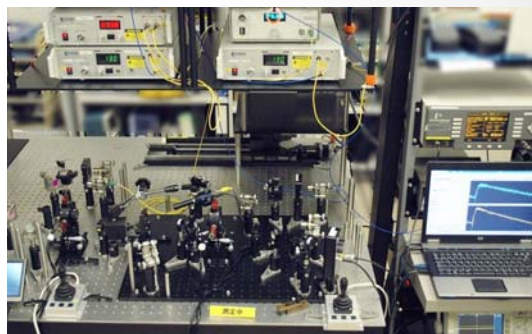
熱伝導シミュレーション



現代のエレクトロニクス開発、製品の熱伝導シミュレーションは必須であり、すなわち熱物性値は必ず必要。

ピコ秒パルスを用いた装置

- 産総研のパルス光加熱TR法装置（標準器）
- 0.5 ps of pulse duration
- RFとFF方式の切り替えが可能



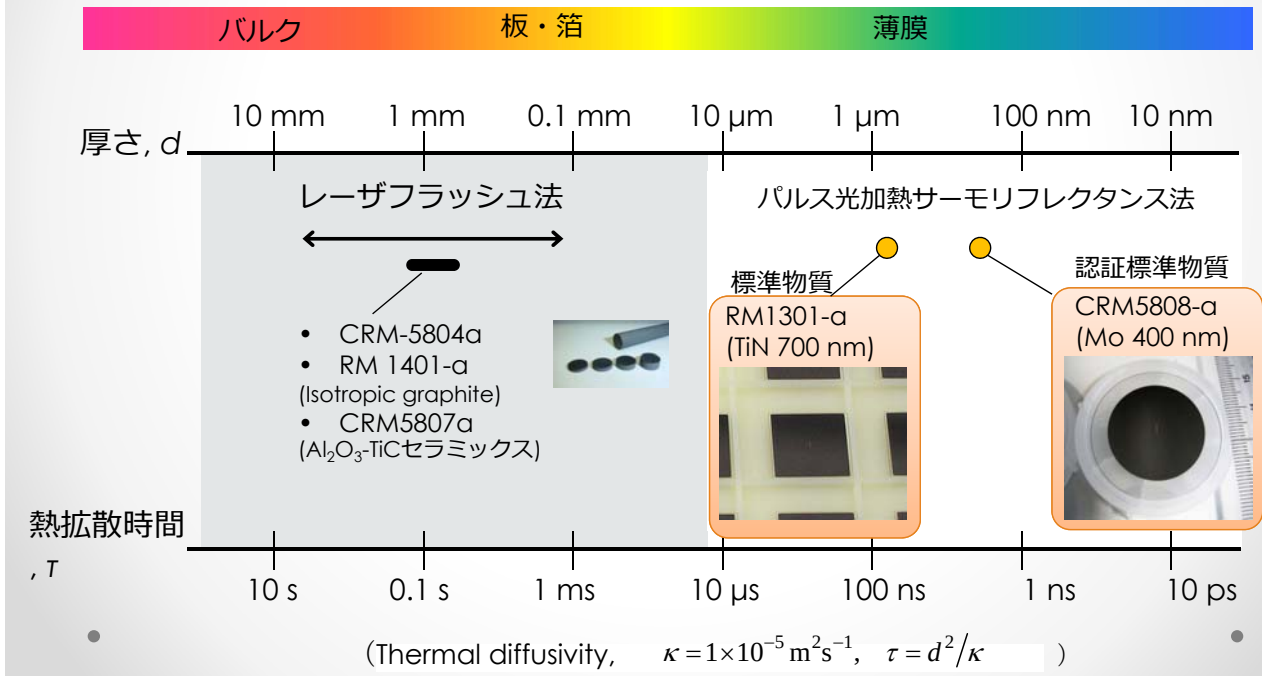
頒布中の薄膜標準物質

- TiN薄膜(700 nm)とMo薄膜(400 nm)の2種類。
- 両者は熱拡散率が約1桁異なります。ユーザの装置性能に合わせて最適な方を選択可してください。
- TiN薄膜は熱拡散時間、Mo薄膜は熱拡散率が値付けされている。
(*TiN薄膜はユーザ自身が膜厚を測定すれば熱拡散率を導出可能です。参考膜厚値も付属しています)

名称	薄膜	膜厚	熱拡散時間	熱拡散率	外形/基板
RM1301-α (2009FY~) 	窒化チタン (TiN)	700 nm	139.7 ns ±6.9 ns (k = 2)	$0.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	10 mm×10 mm 石英ガラス
CRM5808-α (2014FY~) 	モリブデン (Mo)	400 nm	5.4 ns	$3.28 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ± $0.20 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	38.1 mm径 石英ガラス

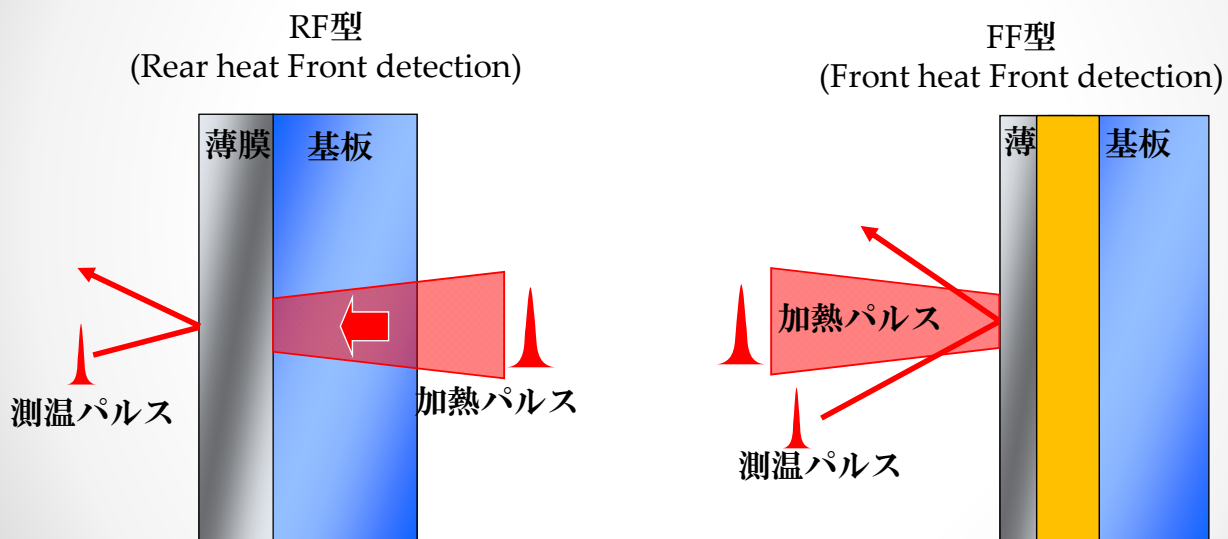
熱物性標準物質 (薄膜)

- ・パルス光加熱サーモリフレクタンス法装置の校正・検証用途
- ・性能に合わせた2種類が利用可能



薄膜の熱拡散率・熱伝導率の 解析方法

- ・測定技術：パルス光加熱サーモリフレクタンス法

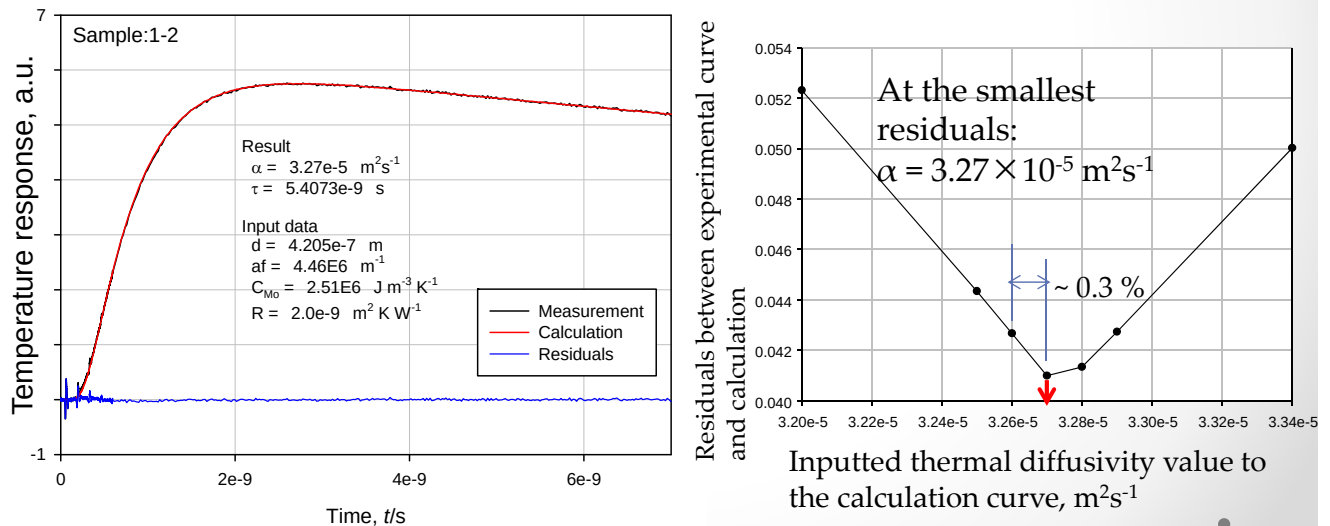


薄膜だけでなく基板の熱物性値を考慮した解析方法を適用。その中には、装置の設定条件（パルス幅、パルスの繰返し周波数等）を含むため、近年、解析の定量性が飛躍的に向上した。

RF方式の解析例：

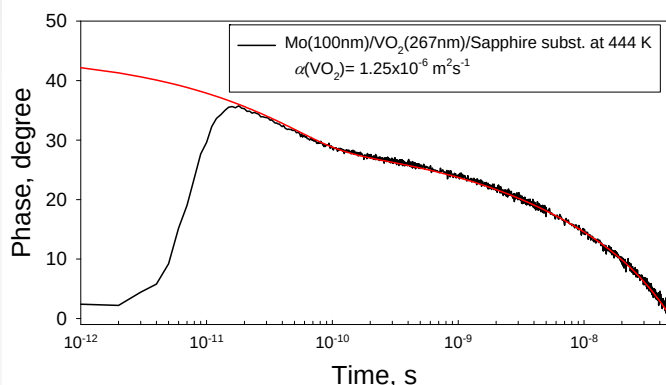
解析感度（熱拡散率）

- CRM5808-a (Mo400 nm) の評価例
- 熱拡散率0.3%の違いを検出可能



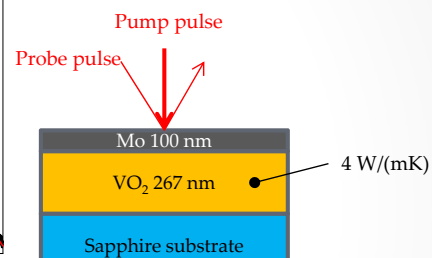
FF方式の解析例

不透明な基板で薄膜の背面加熱ができない場合や、レーザーで加熱できない薄膜などの場合でも、表面側から加熱するFF方式により解決できます。

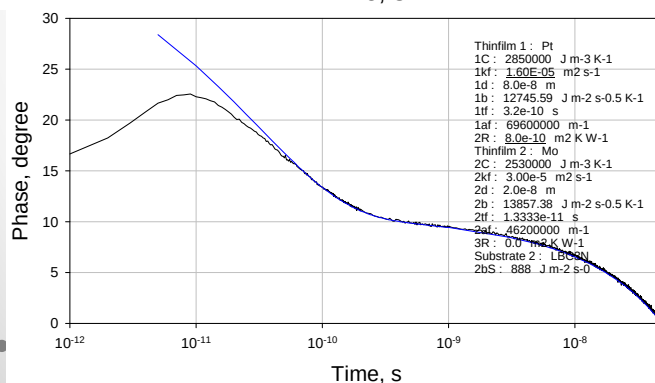


金属膜/酸化膜/単結晶基板の例

- ✓ 薄膜間の界面熱抵抗を考慮

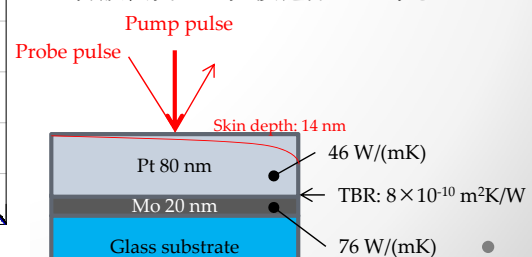


鬼塚ら：日本熱物性シンポジウムA206 (2014)



2層金属膜の例

- ✓ 薄膜間、薄膜基板間の界面熱抵抗を考慮
- ✓ 薄膜表面への光浸透深さを考慮



固体熱物性標準整備の現状と開発計画 ー比熱容量ー

(国)産業技術総合研究所
物質計測標準研究部門 熱物性標準研究グループ
阿部陽香

比熱容量標準の整備状況－依頼試験－

	測定法	測定装置	相対拡張不確かさ ($k=2$) (%)
低温 (50～350 K)	断熱法	パルスチューブ冷凍機式断熱型熱量計 	0.6 ～ 8.2 %
中温 (300～900 K)	示差走査熱量法	入力補償型示差走査熱量計 	1.8 ～ 2.1 %
高温 (900～1600 K)	示差走査熱量法	熱流束型示差走査熱量計 	3.9 ～ 7.2 %

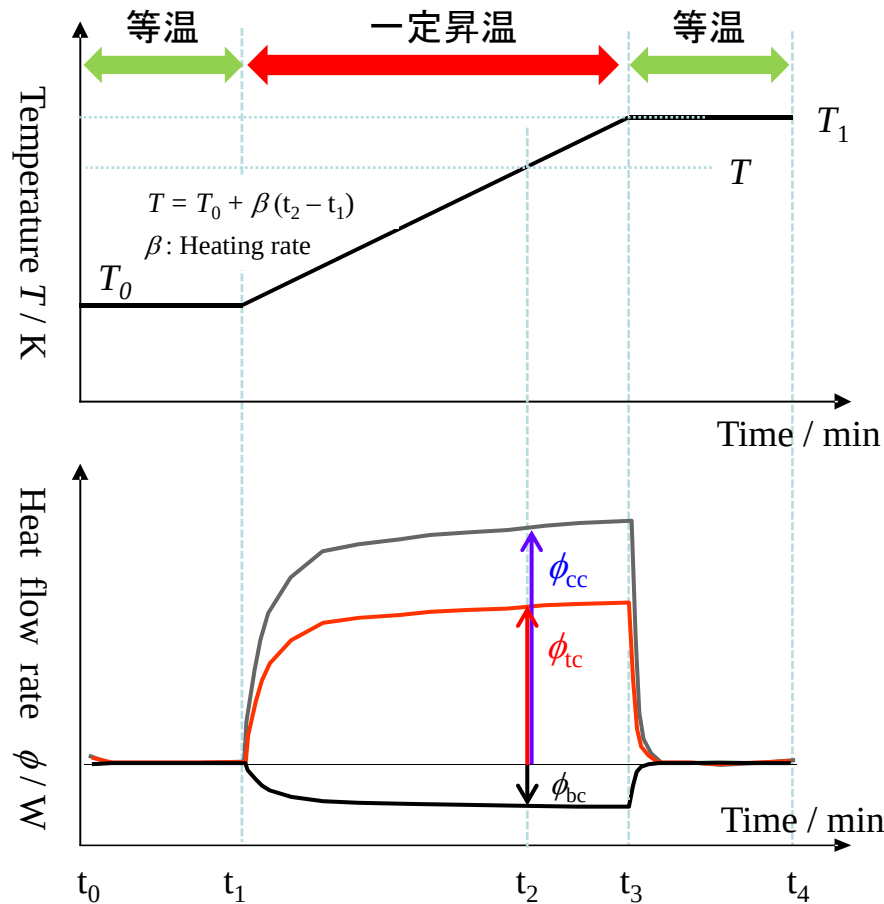
比熱容量標準の整備状況－標準物質－

	標準物質	相対拡張不確かさ ($k=2$)(%)	有効期間
低温 (50～350K)	比熱容量測定用単結晶シリコン NMIJ CRM 5806-a 形状: 直径5 mm × 厚さ1.0 mm 	1.1 ～ 4.1 %	2021年3月31日
中温 (300～900K)	熱伝導率標準物質 等方性黒鉛 NMIJ RM1401-a 形状: 直径10 mm × 厚さ1.0, 2.0 mm (参考値として比熱容量値が付与されている) 	3.1 ～ 4.3 %	2020年3月31日

本日の報告

1. 熱拡散率測定用セラミックス NMIJ CRM5807-a
(Al_2O_3 -TiC系)の比熱容量評価
2. 今後の標準整備計画について

DSCによる比熱容量の算出 (JIS R 1672)



$$c_t(T) = \frac{\phi_{tc} - \phi_{bc}}{\phi_{cc} - \phi_{bc}} \times \frac{m_c}{m_t} \times c_c(T)$$

$c_t(T)$: 温度 T での対象試料の比熱容量 ($\text{J K}^{-1} \text{g}^{-1}$)

$c_c(T)$: 温度 T での基準物質の比熱容量 ($\text{J K}^{-1} \text{g}^{-1}$)

$\phi_{tc} - \phi_{bc}$: 空容器測定を基準とした対象試料測定の
DSC曲線の信号変位 (mW)

$\phi_{cc} - \phi_{bc}$: 空容器測定を基準とした基準物質測定の
DSC曲線の信号変位 (mW)

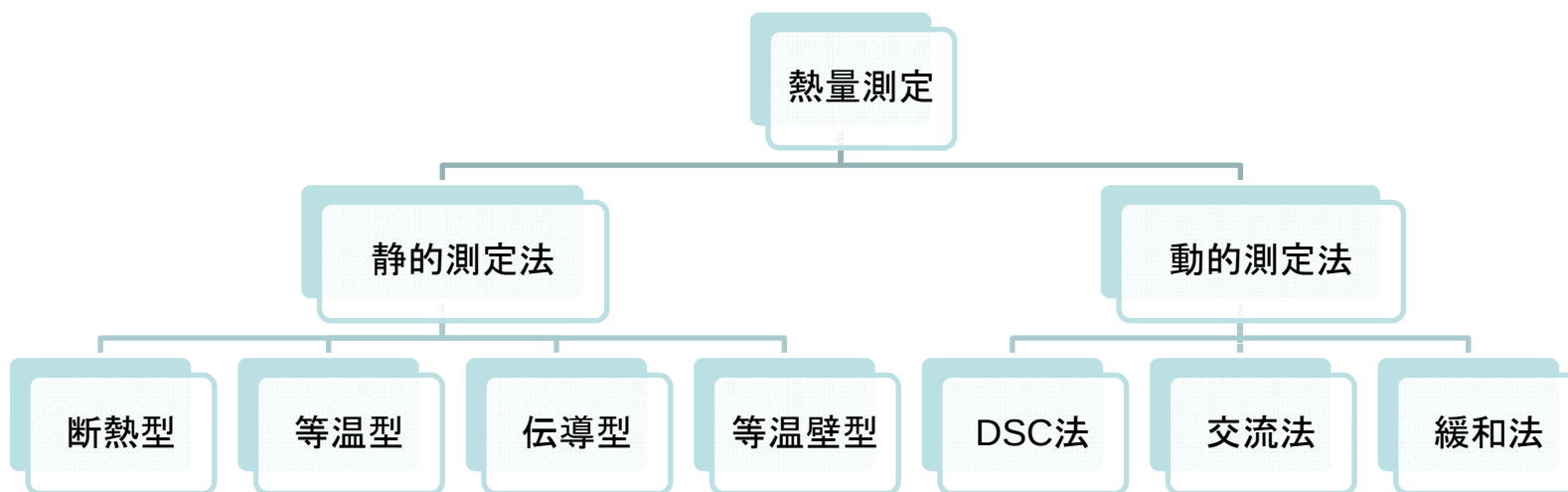
m_t : 対象試料の質量 (g)

m_c : 基準物質の質量 (g)

※ JIS R 1672:2006 長繊維強化セラミックス複合材料の
示差走査熱量法による比熱容量測定方法

今後の標準整備計画

350 K以上の温度領域における比熱容量標準の高度化



2015年度は 比熱容量測定法の調査・検討と標準器開発案に着手

熱物性データベース活動報告

<http://tpds.db.aist.go.jp/tpds-web/>

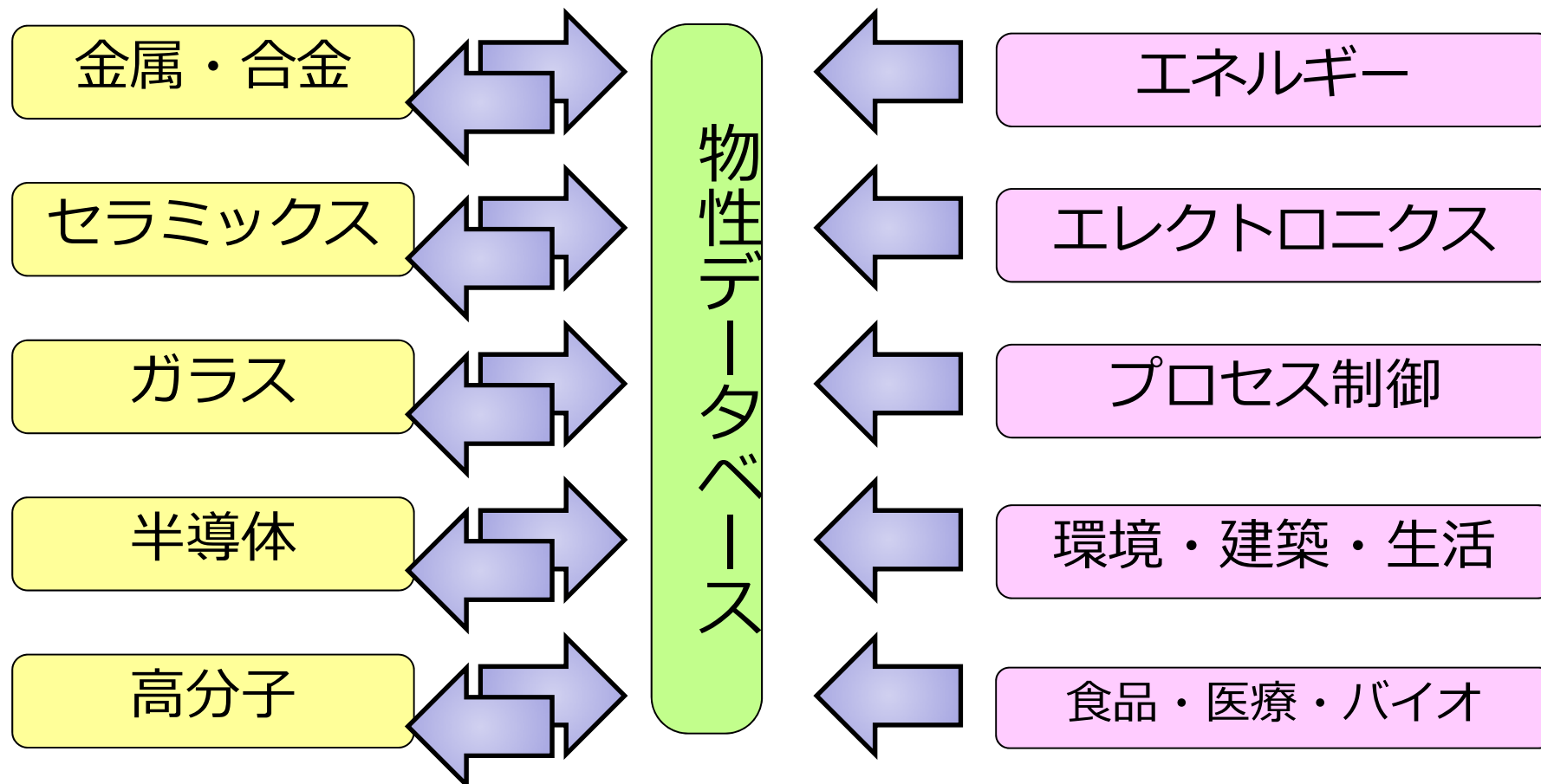
山下雄一郎

(国)産業技術総合研究所 物質計測標準研究部門
熱物性標準研究グループ

物質・材料の開発

物質・材料情報のハブ

物質・材料の利用



TPDS-web

Thermophysical Properties Data

簡易物質検索フォーム

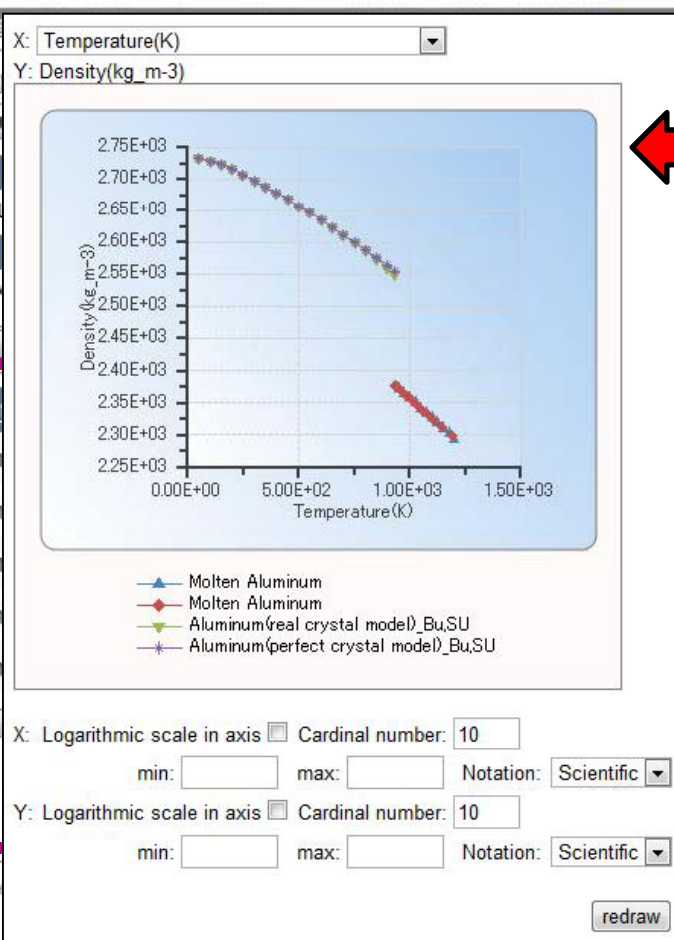

 Material name/Chemical formula

UserName: Password:

MaterialTree Search Material Material Statistics Properties

物質ツリー

- Solids and Melts
 - Non-metallic Elements
 - Semi-Metals and Semiconductors
 - Metals
 - Steel and Iron
 - Nickel and Cobalt base Alloys
 - Copper and Copper Alloys
 - Aluminium and Aluminium Alloy
 - Titanium and Titanium Alloys
 - Zirconium base Alloys
 - Other Alloys
 - Alkali Metals
 - Alkaline Earth Metals
 - p-block Metal Elements
 - Al Aluminum
 - Aluminum_Representative
 - Aluminum_Bulk, PC**
 - Aluminum_Wire, Structure Unknown



Print for use

Search Result Graph Select

2D Graph 3D Graph

☒ ALL ☒ ALL ☒ CLEAR

Graph	Material	Property
☒	Molten Aluminum	Density
☒	Aluminum(real crystal model)_Bu,SU	Density
☒	Aluminum(perfect crystal model)_Bu,SU	Density

マルチタスク
パネル

ST.All rights reserved.

<http://tpds.db.aist.go.jp/tpds-web/>

整備対象：熱物性研究に登場する数式

物性の振る舞いを記述するモデル式(含む経験式、近似式)

e.g. Haas-Fisher式等

$$H(T) = a_1(T - t_0) + a_2(T^2 - t_0^2) + a_3(T^3 - t_0^3) + a_4(T^{-1} - t_0^{-1}) + a_5(T^{0.5} - t_0^{0.5})$$

測定データの解析式

e.g. 多層膜熱拡散時間

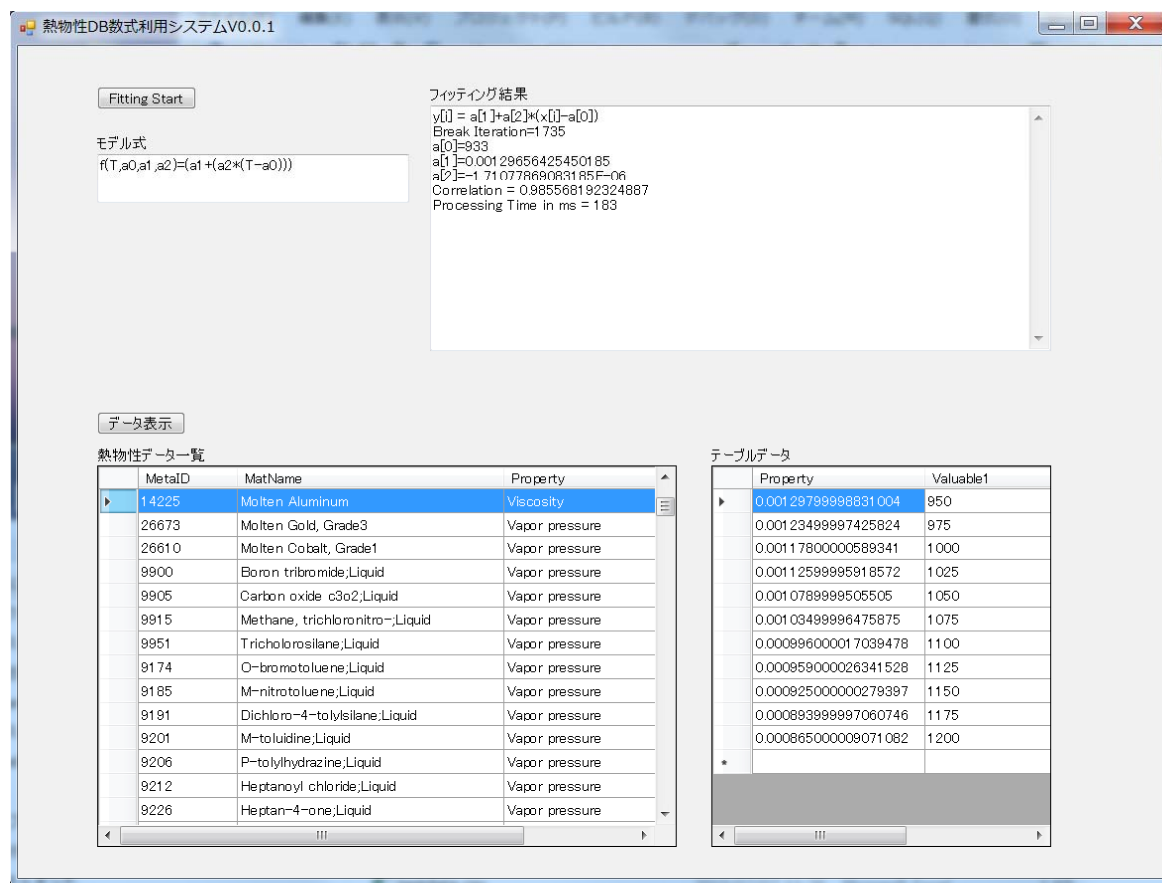
$$A = \frac{(c_m d_m + \frac{4}{3} c_f d_f) \frac{d_m^2}{\alpha_m} + (\frac{c_m^2 d_m^2}{c_f d_f} + c_m d_m + \frac{1}{6} c_f d_f) \frac{d_f^2}{\alpha_f}}{2c_m d_m + c_f d_f} + \frac{2R_b c_m d_m (c_f d_f + c_m d_m)}{2c_m d_m + c_f d_f}$$

理論に基づく物性相関や定義

e.g. ビーデマンフ란ツ則、熱拡散率定義、デバイ比熱

$$\lambda = L \sigma T \quad \alpha = \frac{\lambda}{\rho C} \quad \frac{C_v}{Nk} = 9 \left(\frac{T}{T_D} \right)^3 \int_0^{\frac{T_D}{T}} \frac{x^4 e^x}{(e^x - 1)^2} dx$$

開発アプリ



<仕様>

言語: C#

Framework: .Net Framework

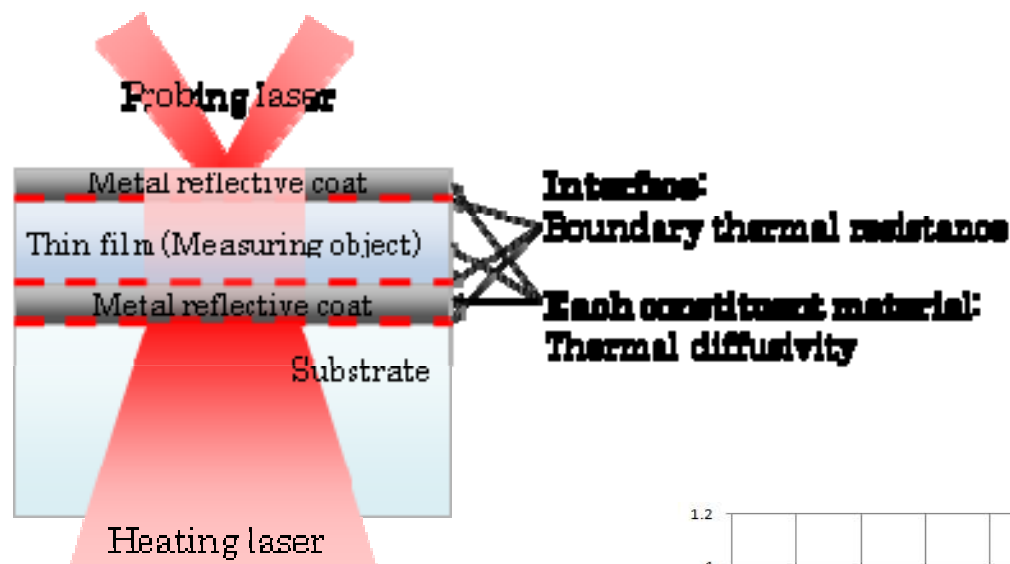
4.5.1

ライセンス: 未定

- 数式ライブラリの式(雛形)を指定し、分散型熱物性データベース中の点列データに当てはめ、係数を求めるシステム
- OpenMath、CSVファイルの外部入力にも対応

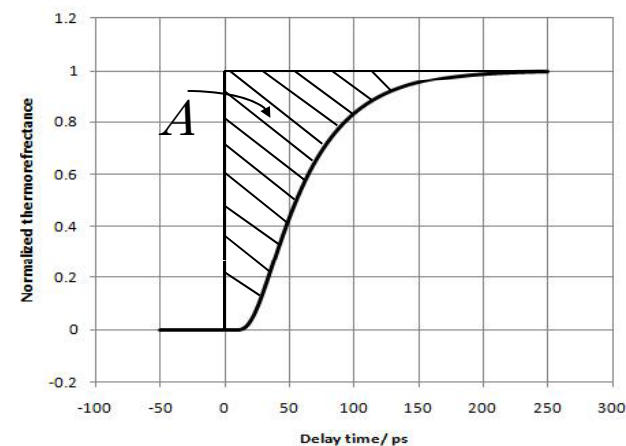


測定試料



裏面加熱表面測温型
サーモフレクタンس法

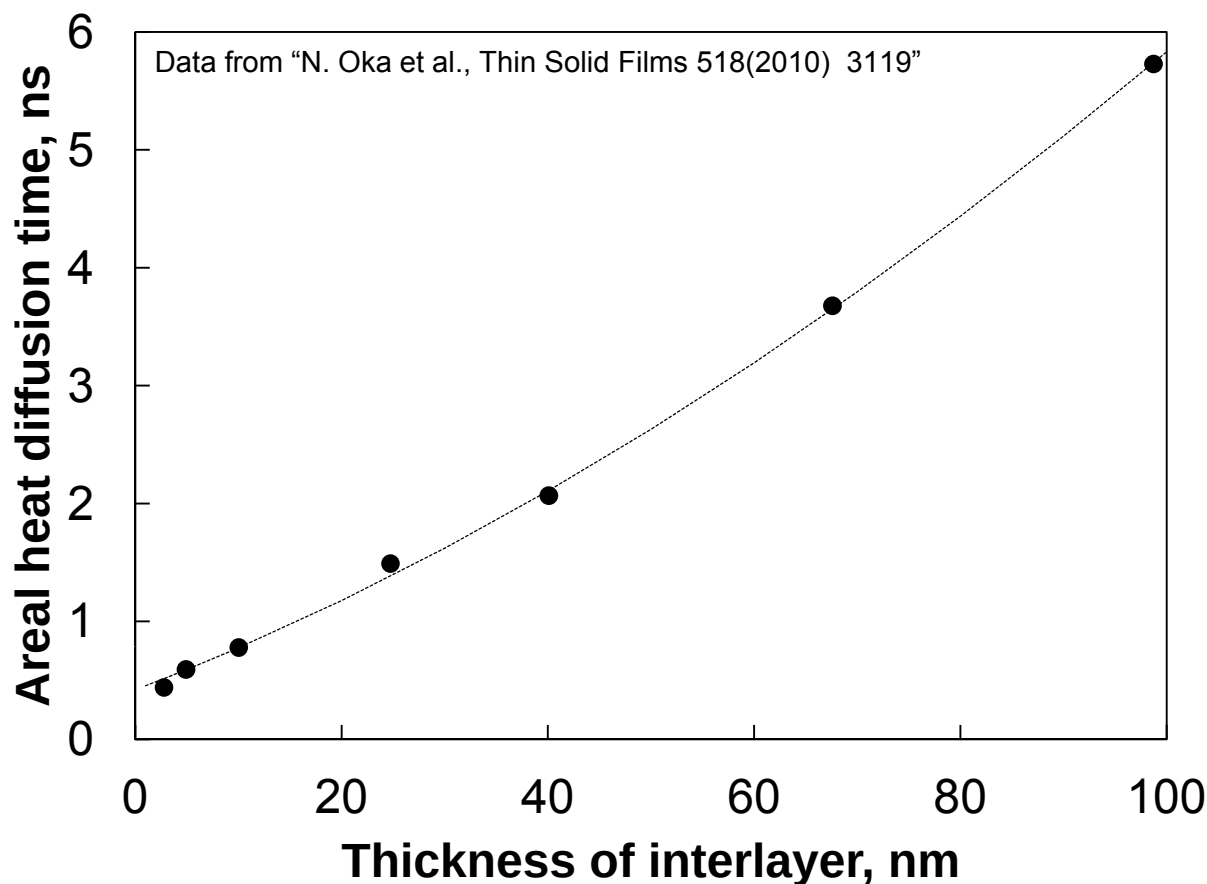
中間層の膜厚を変えたサンプルを複数測定し、
解析式でフィッティング
→中間層熱拡散率、反射膜と中間層間の界面熱抵抗



温度履歴曲線と面積熱拡散時間

3層膜面積熱拡散時間(界面熱抵抗込)の解析式[1]

$$A = \frac{(c_m d_m + \frac{4}{3} c_f d_f) \frac{d_m^2}{\alpha_m} + (\frac{c_m^2 d_m^2}{c_f d_f} + c_m d_m + \frac{1}{6} c_f d_f) \frac{d_f^2}{\alpha_f}}{2 c_m d_m + c_f d_f} + \frac{2 R_b c_m d_m (c_f d_f + c_m d_m)}{2 c_m d_m + c_f d_f}$$



固定値:

$$C_m = 2530000$$

$$d_m = 7E-08$$

$$\alpha_m = 2.1E-05$$

$$C_f = 3080000$$

フィッティングパラメータ:

$$\alpha_f = 9.5E-07$$

$$R_b = 1.5E-09$$

解析時間: 0.1秒

1) T. baba, Jpn. J. Appl. Phys. 48 05EB04

2) N. Oka et al., Thin Solid Films 518(2010) 3119