

新技術説明会 '08.7/25

工業部材の熱物性値をその場 計測する技術とその応用

- 山形大学大学院
理工学研究科教授
高橋一郎

研究背景と発表内容

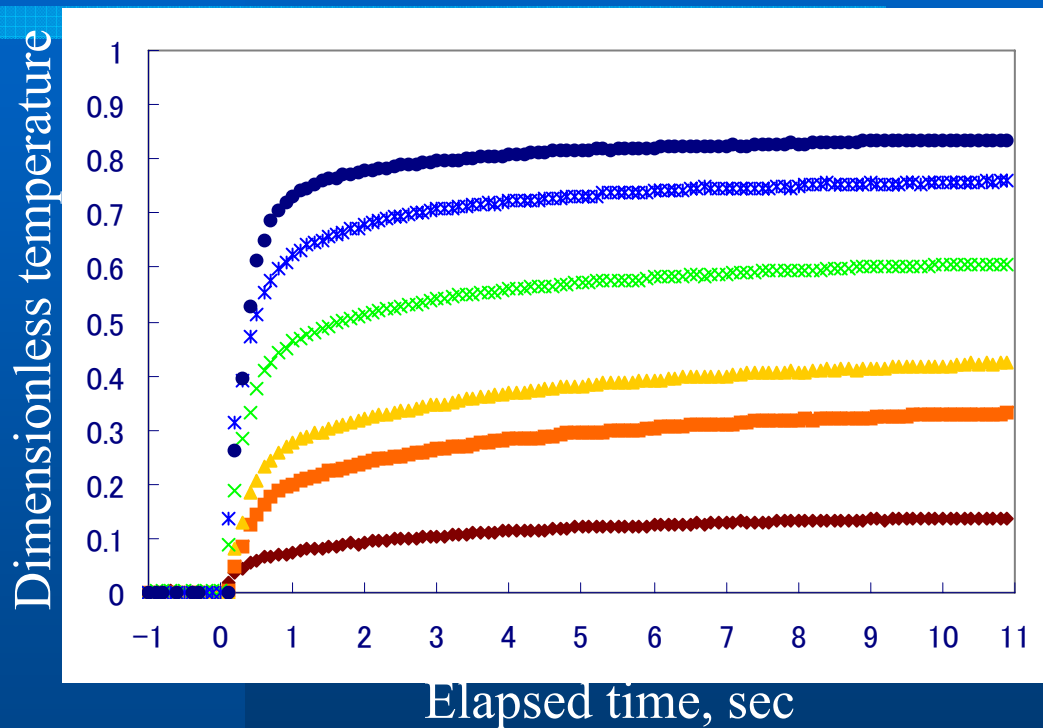
- 新開発・固体熱物性テスター
- 冷たさを感じるのはどっち？
- 温度応答例と測定理論
- 熱物性計測を製造現場で応用する
- 高分子樹脂射出成形品の品質検査
- 新素材の熱伝導率測定
- 硬質塩ビ管の劣化診断
- 金属材料の劣化・寿命診断
- まとめ

- 新開発・固体熱物性テスター

A4サイズ収納



● 樹脂や金属の温度応答測定例



熱伝導率
W/(m·K)

- アルミニウム 230
- * アームコ鉄 73.1
- × JIS-SUS304 16.0
- ▲ リファセラムZR1 2.95
- 石英ガラス 1.39
- ◆ 塩化ビニル 0.16

$$\text{無次元温度} = \frac{\text{プローブ温度} - \text{プローブ初期温度}}{\text{試料初期温度} - \text{プローブ初期温度}}$$

● 測定理論

測定理論：点接触式温度
プローブによる
熱3定数の測定法

点接触状態(半球状温度伝播モデル)

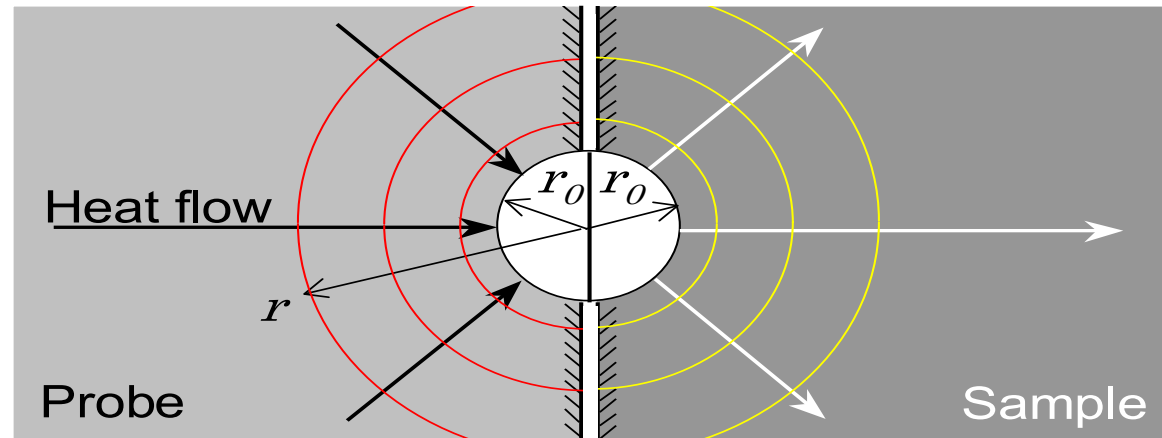


Fig.1 Thermal contact model

支配方程式

$$\frac{\partial T_p}{\partial t} = a_p \left(\frac{\partial^2 T_p}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_p}{\partial r} \right), \quad \frac{\partial T_s}{\partial t} = a_s \left(\frac{\partial^2 T_s}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_s}{\partial r} \right)$$

初期条件： $T_p(r_0, 0) = T_{p0}, \quad T_s(r_0, 0) = T_{s0}$

境界条件： $T_p(\infty, t) = T_{p0}, \quad T_s(\infty, t) = T_{s0}$

$$T_p(r_0, t) = T_s(r_0, t), \quad \lambda_p \left. \frac{\partial T_p}{\partial r} \right|_{r=r_0} = -\lambda_s \left. \frac{\partial T_s}{\partial r} \right|_{r=r_0}$$

無次元温度： $T_p^* = \frac{T_p - T_{p0}}{T_{s0} - T_{p0}}$

プローブ側理論温度応答解

$$T_p^* = \frac{1}{\eta} \left(\frac{\beta}{\beta+1} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{C}{\sqrt{t}} \right) + \frac{\zeta - \beta}{\eta(\beta+1)(\eta-1)} \exp \left(X^2 - \frac{C^2}{t} \right) \operatorname{erfc}(X)$$

熱伝導率、熱浸透率、比熱容量が測定可能

$$\eta = \frac{r_1}{r_0}, \quad C = \frac{r_1 - r_0}{\sqrt{a_p}}, \quad X = \frac{C}{\sqrt{t}} + \frac{(\beta + 1)(\eta - 1)}{2C(\zeta + 1)}\sqrt{t}, \quad b = \frac{2C}{\sqrt{\pi}}$$

熱伝導率比

$$\beta = \frac{A\eta}{1 - A\eta}$$

EXCELのマクロ利用で自動処理

熱浸透率比

$$\zeta = (\beta + 1)^2 \left(A - \frac{B}{b} \right) \eta(\eta - 1) + \beta$$

熱伝導率 $\lambda_s = \beta \cdot \lambda_p$

熱浸透率 $\xi_s = \zeta \cdot \xi_p$



熱拡散率と比熱容量

$$a_s = \left(\frac{\lambda_s}{\xi_s} \right)^2 \quad (\rho C)_s = \frac{\xi_s^2}{\lambda_s}$$

$$\frac{C}{\sqrt{t}} \ll 1 \quad \text{開始5秒以上で}$$

$$T_p^* \cong \frac{\beta}{\eta(\beta + 1)} - \frac{2C}{\sqrt{\pi}} \left\{ \frac{\beta}{\eta(\beta + 1)} - \frac{\zeta - \beta}{(\beta + 1)\eta(\eta - 1)} \right\} \frac{1}{\sqrt{t}}$$

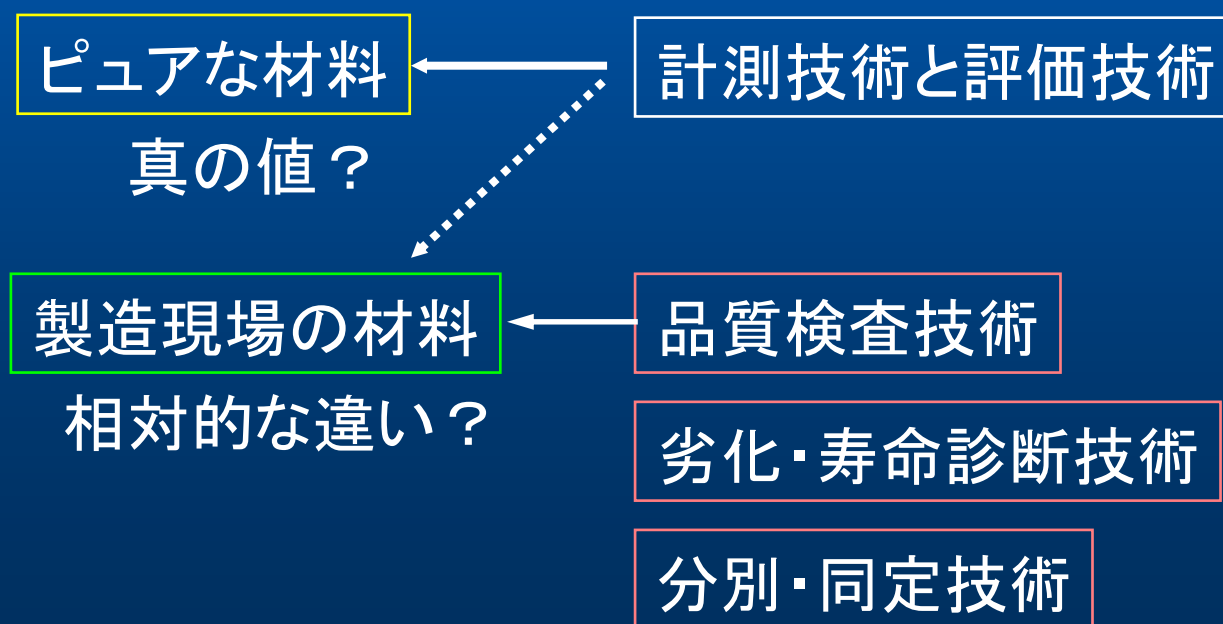
$$T_p^* = A - B/\sqrt{t}$$

この時間帯における実測温度応答から T_p^* の係数AとBを決定する。

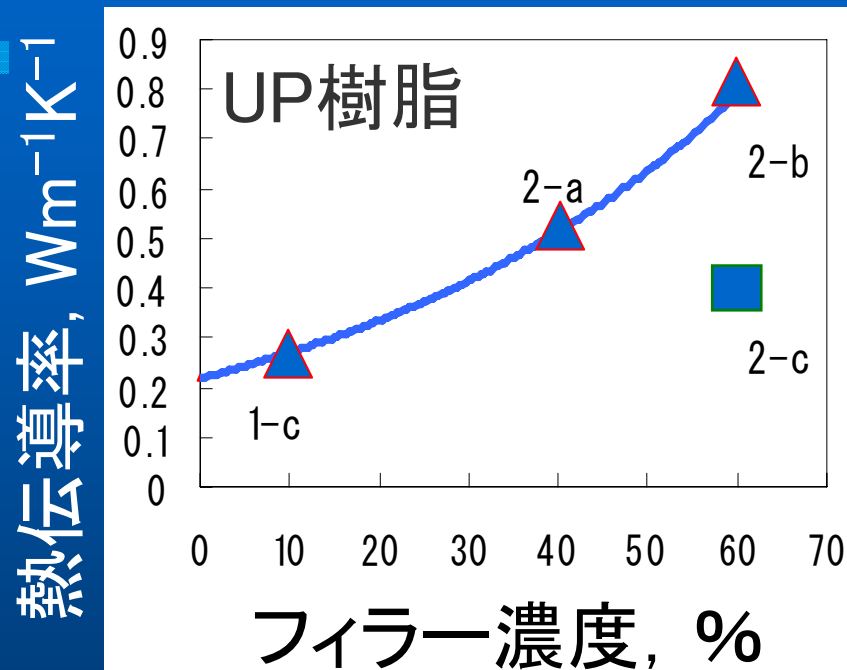
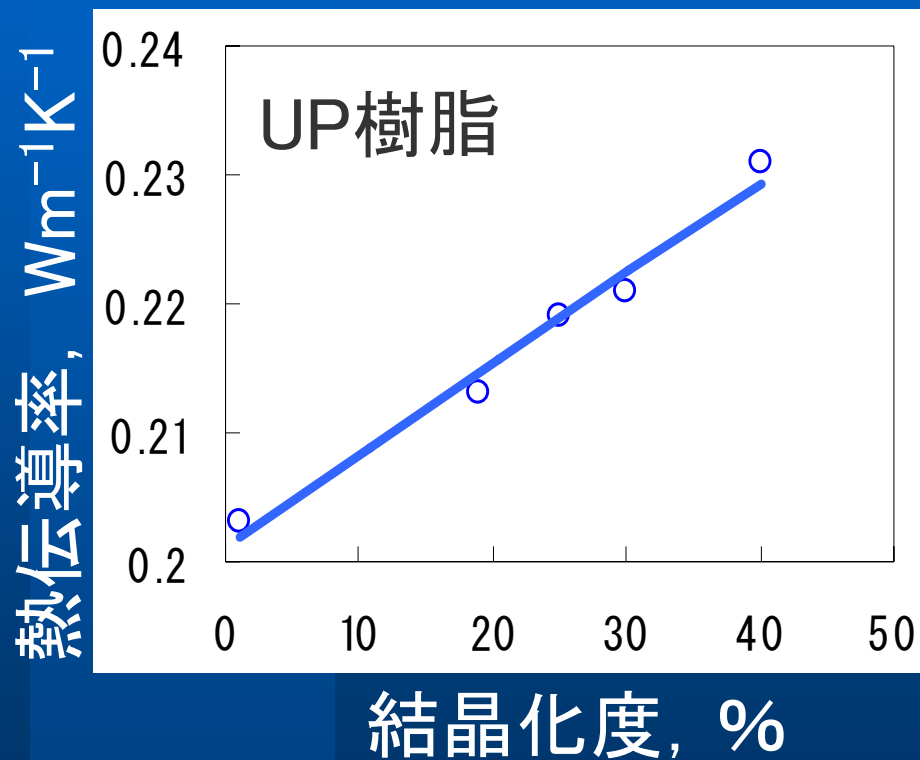
プローブの実測温度応答曲線と理論温度応答曲線とをカーブフィッティング $\Rightarrow \eta$ をパラメータとして β と ζ を決定する。

● 熱物性計測を製造現場で応用する

熱物性情報・・・ 熱伝導率 λ
熱拡散率 a
熱浸透率 ξ
比熱容量 c



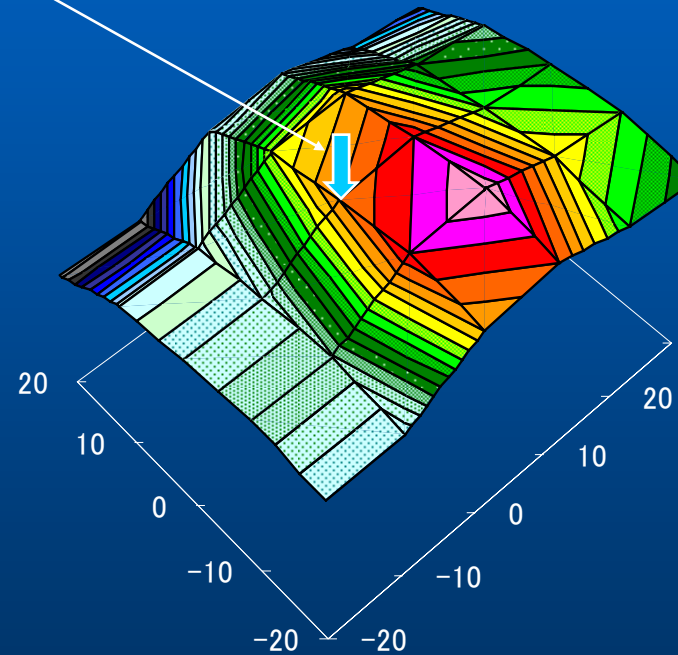
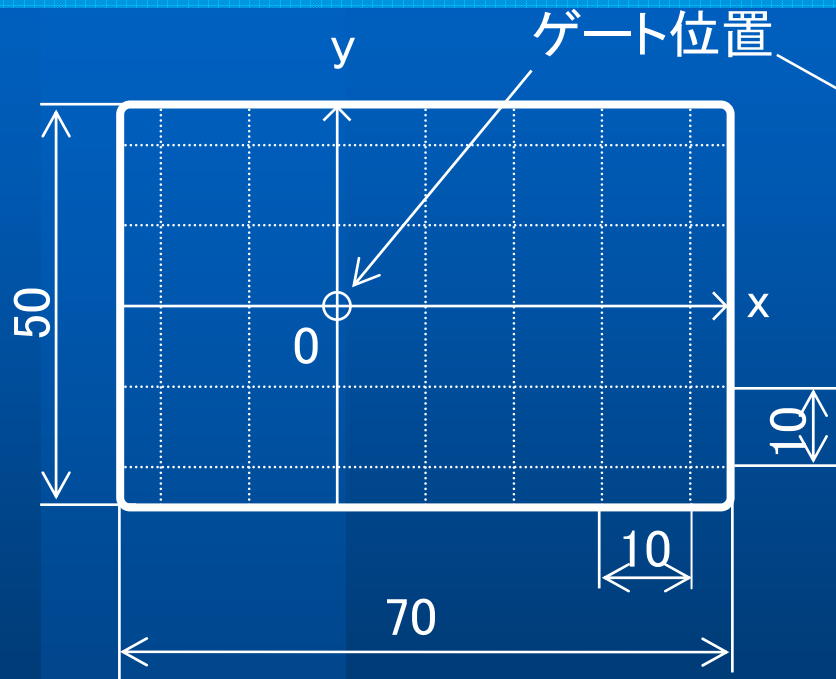
● 結晶化度やフィラー濃度と熱伝導率の関係



- ▲ フィラーA含有
- フィラーB含有
- フィラーなし

● 高分子樹脂射出成形品の品質検査

提供：世紀(株)



熱伝導率
W/(m·K)

0.199
0.194
0.192
0.190
0.188
0.186
0.180
0.175
0.172
0.170

PP樹脂板 厚さ1.5mm
成形条件： 453K, 10MPa

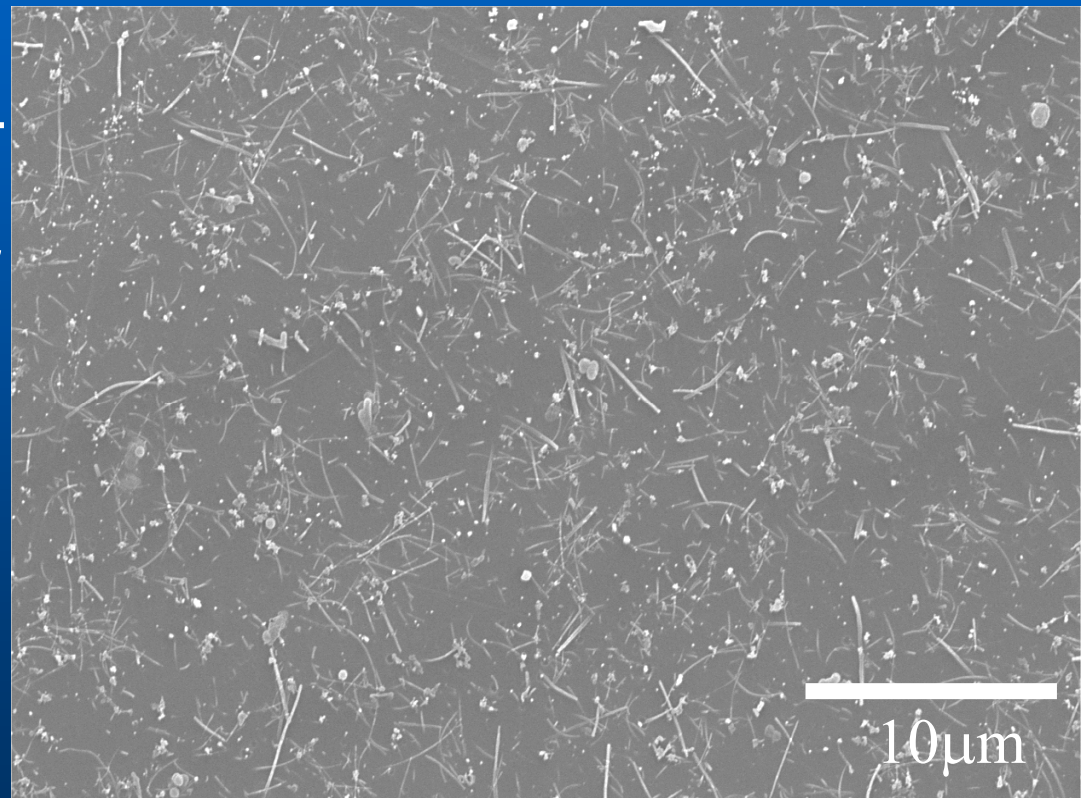
- 分散系複合材の熱物性測定例

CNTが面内方向に積層

PC樹脂 (0.19W/mK) にCNT
混入しホットプレス法で作成



直径40mm
厚さ 5mm



SEM at Plasma Etched Surface
提供: 高橋辰宏准教授

分散系複合材の熱伝導率測定結果

試料	体積比 %	固体熱物性テスター λ_e (W/m·K)	レーザーフラッシュ法 λ_{\perp} (W/m·K)
ポリマー CNT入り	70 30	21.1	3.25
ポリマー 銅粉末 (粒径10 μ m)	70 30	1.51	1.26
ポリマー CNT+銅粉末 (粒径10 μ m)	70 15 15	14.2	2.89

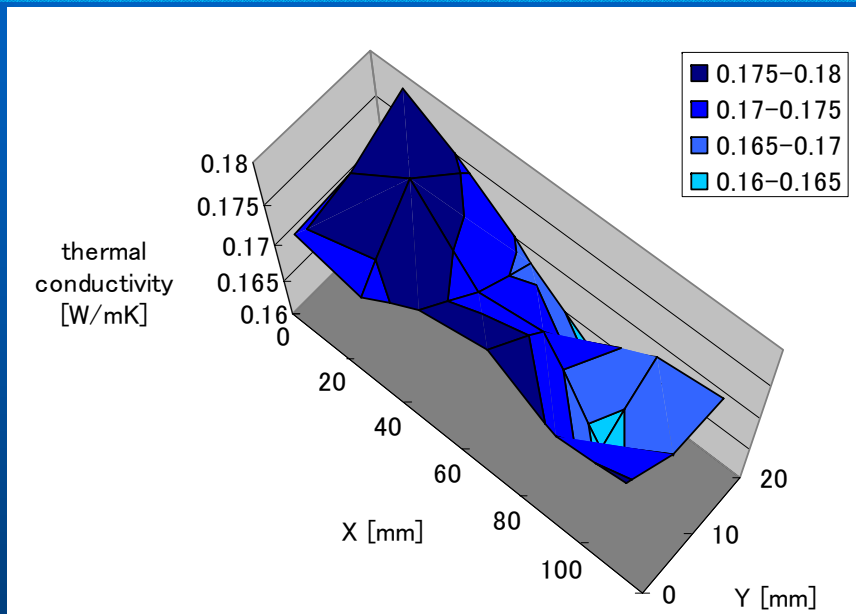
$$\lambda_e = (\lambda_{\perp} \cdot \lambda_{\parallel}^2)^{\frac{1}{3}}$$



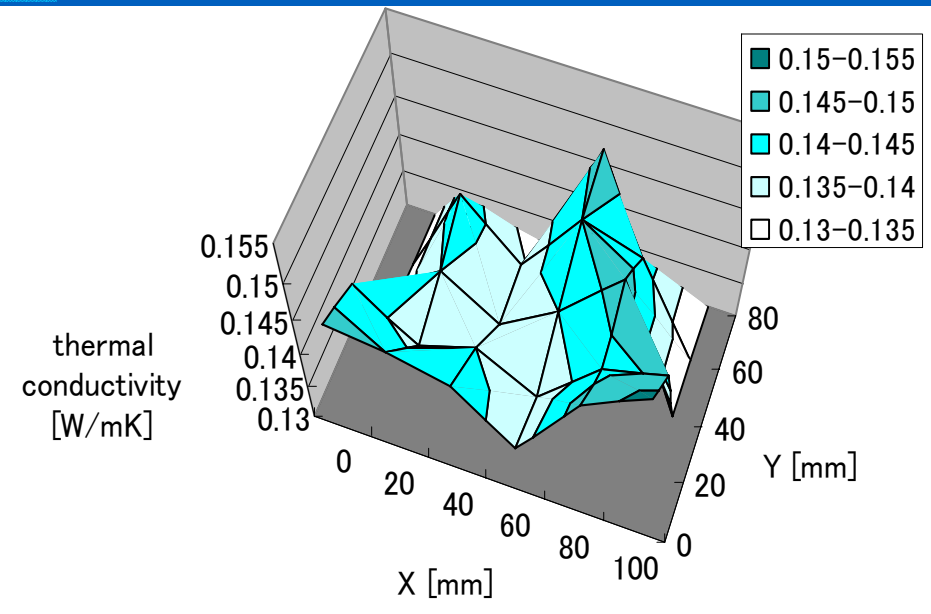
CNT入り試料: $\lambda_{\parallel} = 53$ W/m·K

CNT+銅粉末試料: $\lambda_{\parallel} = 31$ W/m·K

● 硬質塩ビ管の劣化診断例



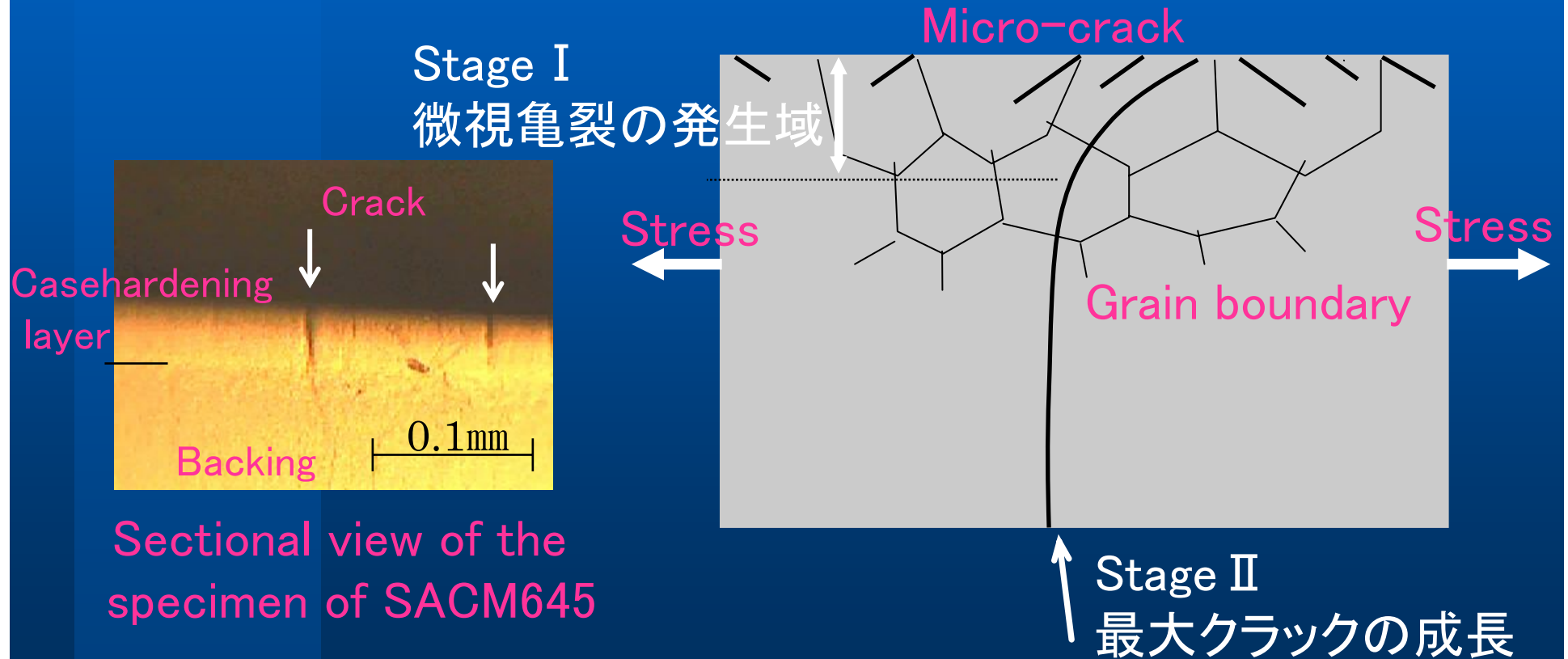
硬質塩ビ管の熱伝導率分布
(健全部位の測定結果)



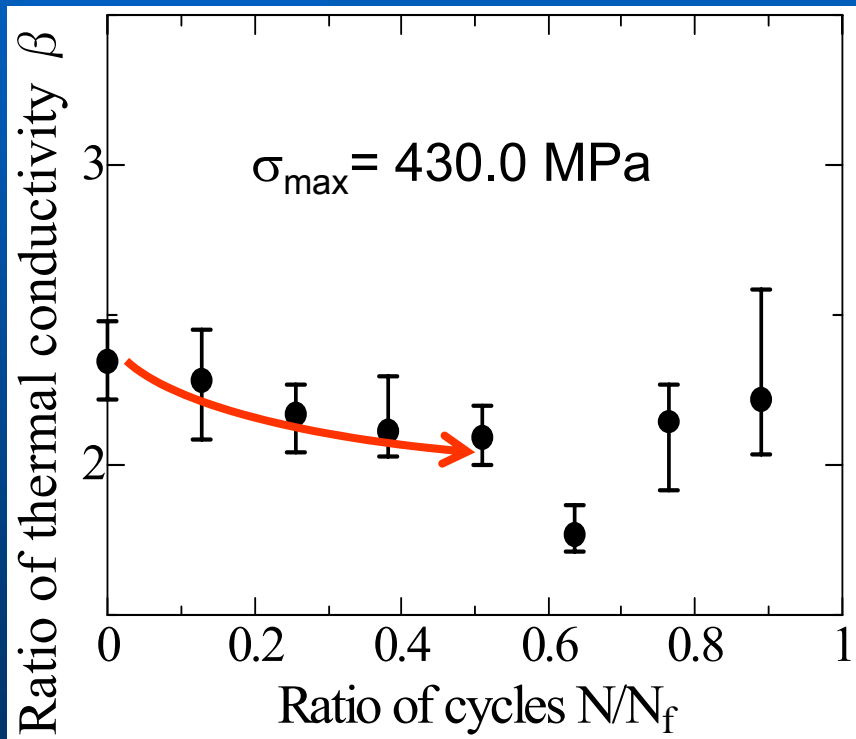
硬質塩ビ管の熱伝導率分布
(破裂部位の測定結果)

● 金属材料の劣化診断技術

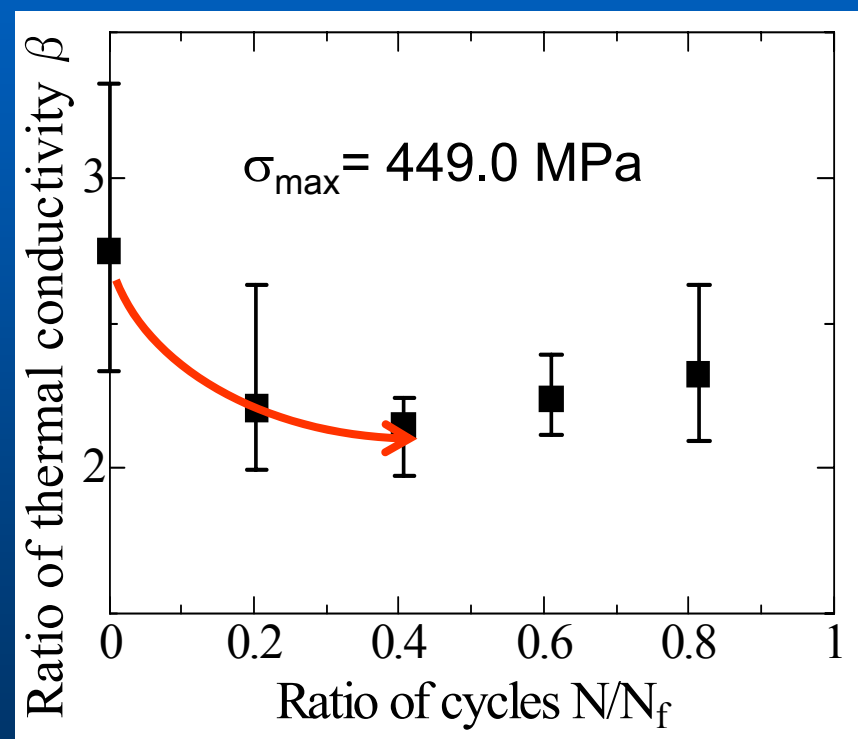
固体熱物性テスターで表面層の熱物性変化をその場検出



● 疲労劣化に伴うJIS-S45C板材の熱伝導率低下









引張り応力が小さい場合



引張り応力が大きい場合

従来技術との比較

● 実用熱物性測定法（熱擾乱方法による分類）

	点状 	線状 	面状 
	固体熱物性テスター (熱伝導率、熱浸透率)	ホットワイヤー (熱伝導率)	ホットディスク法 (熱伝導率、熱拡散率)
			レーザーフラッシュ (熱拡散率、比熱)
	レーザースポット 加熱法(熱拡散率) 光音響法 (熱浸透率)	3 ω 法 (熱伝導率)	ACカロリメトリー法 (熱拡散率) 温度波解析法 (熱拡散率)

● ま と め

- (1) 固体熱物性テスター:平成18年度
JSTシーズ発掘試験研究
- (2) 樹脂成形品の品質評価として、
分別・同定技術としての応用
- (3) 劣化・寿命診断技術としての応用
- (4) 手軽に使える熱物性テスターの普及
熱物性情報の利用拡大

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 温度プローブ及び熱物性測定装置ならびに熱物性測定方法
- 出願番号 : 特許3430151 (2003,5月)
- 出願人 : 有)タックリサーチ
- 発明者 : 高橋一郎、吉沢保夫

お問い合わせ先

○ 山形大学地域共同研究センター

産学官連携コーディネーター 高橋 政幸

TEL 0238-26-3030

FAX 0238-26-3633

e-mail masayuki@yz.yamagata-u.ac.jp

○ 発表者 高橋 一郎

e-mail it@yz.yamagata-u.ac.jp