

### 3 $\omega$ 法を用いたカーボンナノチューブ紡績糸の熱伝導率測定

Thermal Conductivity Measurement of Carbon-Nanotube Yarns Using the 3 $\omega$ -Method

奈良先端大物質, °関本祐紀, 伊藤光洋, 小泉拓也, 岡本尚文,

鄭 敏詰, 小島広孝, 辨天宏明, 中村雅一

NAIST, °Y. Sekimoto, M. Ito, T. Koizumi, N. Okamoto,

M.-C. Jung, H. Kojima, H. Benten, M. Nakamura

E-mail: sekimoto.yuki.sq0@ms.naist.jp

IoT のためのセンサーやウェアラブルデバイスの電源として、身の回りの廃熱を利用して発電する柔軟・軽量・低コストな熱電変換デバイスが期待されており、近年有機あるいは有機無機ハイブリッド熱電材料が盛んに研究されている。この目的のために、当研究グループではカーボンナノチューブ(CNT)紡績糸を用いた布状熱電素子を提案し、研究を行ってきた[1,2]。一般に、熱電材料の性能評価において、熱電3物性値(ゼーベック係数、導電率および熱伝導率)を同一試料・同一方向で正確に測定することが重要である。ところが、有機系熱電材料は薄膜試料によって研究されることが多く、ゼーベック係数と導電率は面内方向に、熱伝導率は膜厚方向にしか測定されていないケースがほとんどであった。そこで本研究では、CNT 紡績糸の熱電3物性値を同一試料・同一方向で測定するための3 $\omega$ 法を用いた熱伝導率測定装置を作製し、糸の長手方向の熱伝導率測定を行った結果を報告する。

細線状試料に角周波数 $\omega$ ( $\omega=2\pi f$ )の交流電流 $I$ を流すと、ジュール熱が $2\omega$ の温度振動を起こすことで試料の抵抗も $2\omega$ で振動し、電圧測定端子に $3\omega$ で振動する電圧成分が生じる[3]。この時、 $3\omega$ 成分の電圧振幅 $V_{3\omega}$ は次式で近似される：

$$V_{3\omega} = \frac{4I^3 LRR'}{1.01\pi^4 \kappa S} \left[ \frac{1}{\sqrt{1+(2\gamma\omega)^2}} + 0.01 \right] \quad (1)$$

( $R$  : 試料抵抗,  $R'$  : 基板における  $dR/dT$ ,  $S$  : 試料の断面積,  $\gamma$  : 熱時定数,  $L$  : 電圧測定電極間隔)。この近似条件を満たすとき $V_{3\omega}$ は電流振幅の3乗に比例し、熱伝導率は(1)式を $V_{3\omega}-f$ プロットにフィッティングすることで得られる。本研究では交流電流源、AD変換器、真空チャンバーを用いて測定装置を作製し、試料としてウェットスピニング法で作成した直径40 $\mu\text{m}$ のニートCNT紡績糸[2]を用いた。

Fig. 1および2に結果の一例を示す。1 Hzの交流電流を流したとき、 $V_{3\omega}$ は振幅1~2 mAの間で電流の3乗に比例した(Fig. 1)。そこで、電流振幅1.3 mAにおいて $V_{3\omega}$ の周波数依存性を測定した結果(Fig. 2)から、熱伝導率78.9 W/mKを得た。これは既に報告されている323 Kにおける垂直配向CNT膜の膜厚方向熱伝導率83 W/mK[4]に近い値であり、ニートCNT紡績糸は熱伝導率が高いことが確認された。講演では、ポリマーとの複合紡績糸の測定結果についても報告する。(謝辞)この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。

[1] 伊藤他: 第63回春季講演会21p-W351-9. [2] 小泉他: 第77回秋季講演会15a-B13-3. [3] L. Lu *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **71** (2001) 2996. [4] X. Hu *et al.*, *J. Heat. Transf.* **128** (2006) 1109.

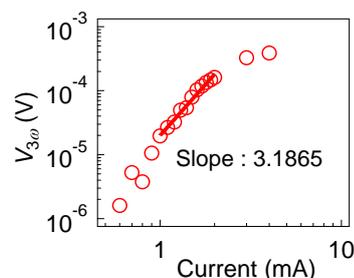


Fig. 1  $V_{3\omega}$  の電流依存性

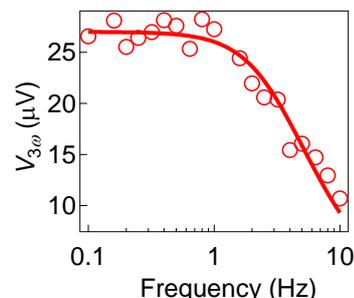


Fig. 2  $V_{3\omega}$  の周波数依存性