

## AFM によるシトクロム $c_3$ 分子の電気伝導測定

(阪大院理<sup>1</sup>, 福井大院工<sup>2</sup>, 兵庫県立大院生命理<sup>3</sup>) °角田 早<sup>1</sup>, 山口 晴正<sup>1</sup>, 蔡 徳七<sup>1</sup>,  
平野 義明<sup>2</sup>, 鈴木 雅之<sup>3</sup>, 樋口 芳樹<sup>3</sup>, 松本 卓也<sup>1</sup>

### Conductance of cytochrome $c_3$ molecule probed by conductive AFM

(Osaka Univ.<sup>1</sup>, Fukui Univ.<sup>2</sup>, Univ. of Hyogo<sup>3</sup>) °Saki Sumida<sup>1</sup>, Harumasa Yamaguchi<sup>1</sup>,  
Dock-Chil Che<sup>1</sup>, Yoshiaki Hirano<sup>2</sup>, Masayuki Suzuki<sup>3</sup>, Yoshiki Higuchi<sup>3</sup>, Takuya Matsumoto<sup>1</sup>

【序】電子伝達タンパク質シトクロム  $c$  (Cyt  $c$ ) はヘム鉄の酸化還元反応 ( $\text{Fe}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$ ) に基づいて電子輸送を行う分子であるため、電子機能有機材料としてとりあげられ、多くの実験が行われてきた。タンパク質は生体内で数個-数十個の複合体で機能しているため、電子伝達機能を調べるには、単一もしくは少数分子の電気伝導測定が必要である。単一・少数分子での電気伝導測定を行うことで、生体分子の電子伝達に関する理解が深まり、生体分子は高確率な電子機能有機材料として生体系を模倣した機能を持つ分子素子への応用が期待できる。我々は少数分子の I-V 測定により、Cyt  $c$  は閾値特性を示すことを報告し、2PyS の自己組織化単分子膜 (SAM 膜) で接合したときの閾値が 0.5 V 程度であることを示した。今回、電子伝達タンパク質の中でも Cyt  $c_3$  に着目した。Cyt  $c_3$  は 1 分子中にヘム鉄を 4 つ有する構造を持つので、効果的な電子輸送が期待できる。AFM を用いて、Cyt  $c_3$  分子の I-V 測定を行った。

【実験】真空蒸着法を用いて、劈開したマイカ基板表面に Au (1,1,1) 清浄表面を作成した。この基板をオゾン-UV 処理をした後、2,2'-PySSPy の 1mM エタノール溶液中に 20 時間浸透し、2PyS の SAM 膜による表面修飾を行った。この基板の上に Cyt  $c_3$  (100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) 水溶液を滴下し、30 分放置した後、余分な溶液を除去・乾燥し、Cyt  $c_3$  の吸着を行った。AFM を用いて、窒素雰囲気中で様々な負荷力での I-V 測定を行った。探針には基板と同様に 2PyS の SAM 膜による表面修飾を行った Au-coat カンチレバーを用いた。

【結果と考察】Fig.2 に 10~100 nN までのさまざまな負荷力で Cyt  $c_3$  の I-V 特性を測定した結果を示す。

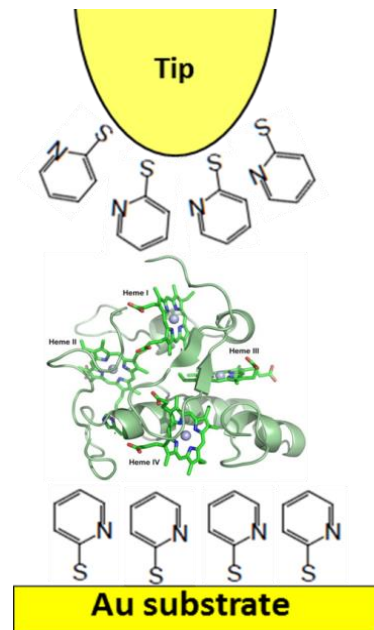


Fig.1 Cyt  $c_3$  の I-V 測定

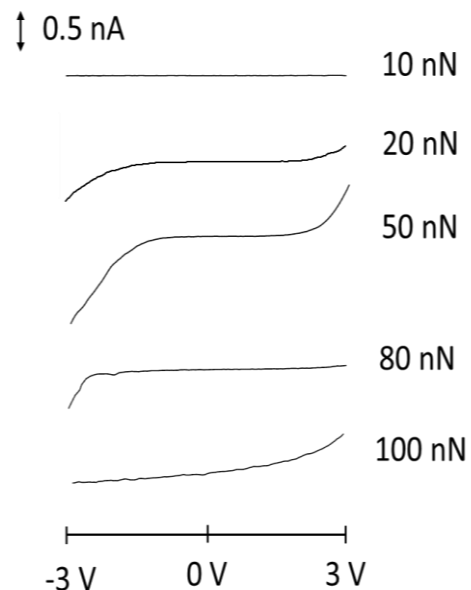


Fig.2 Cyt  $c_3$  のさまざまな負荷力での I-V 特性

10 nN では負荷力が小さく、有意な I-V 特性が観測されなかった。20~50 nN での I-V 曲線は電流値は増大するが、ほとんど同じ線形を示した。80 nN 以上では I-V 曲線の形状が大きく変化し、100 nN では 0 V でもオーミックなコンダクタンスが観測された。これは Cyt  $c_3$  に大きな負荷がかかったために、タンパク質が変性し、電極間の直接トンネリングが起こった結果と考えられる。Fig.3 に 20 nN の負荷力で Cyt  $c_3$  の I-V 特性を測定を繰り返し行った結果を示す。各測定で電流値はゆらぐが、閾値はほぼ 1.0 V 程度で再現性があった。SAM 膜

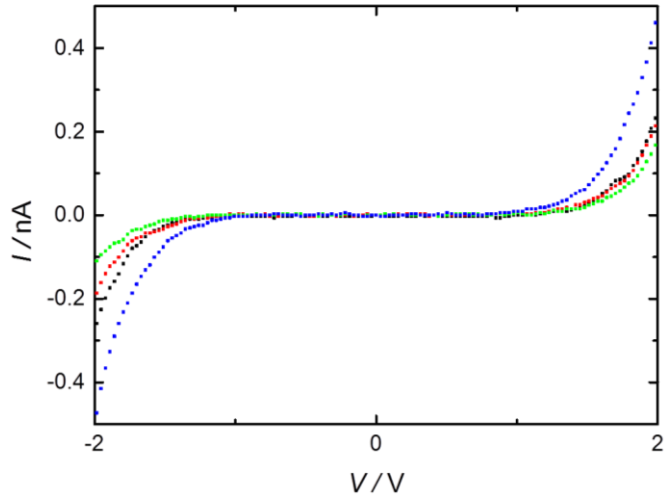


Fig.3 Cyt  $c_3$  の負荷力 20 nN での I-V 特性

のみでの測定を行った場合には閾値は観測されなかったため、観測した閾値は Cyt  $c_3$  に由来すると考えられる。

今回の実験で得られた既に報告した Cyt  $c_3$  の閾値 1.0 V は、Cyt  $c$  分子の閾値電圧 0.5 V より著しく大きいことが判明した。Fig.4 にバイアス電圧 0 V のとき(a)および Cyt  $c$  と Cyt  $c_3$  のそれぞれの閾値電圧をかけたとき(b),(c)のエネルギー図を示した。電極-チップ間の中央にそれぞれの酸化還元中心があるとしたとき、酸化還元中心(RC)が電極のフェルミ準位と一致するには、エネルギー差の2倍のバイアス電圧が必要である。Cyt  $c_3$  と Cyt  $c$  の酸化還元電位は Cyt  $c_3$  のほうが約 0.25 V 低いことが電気化学による研究で既に報告されている。エネルギー図では Cyt  $c$  よりもさらに 0.25 V 高い位置に Cyt  $c_3$  の酸化還元中心がくるため、閾値が大きくなったと考えられる。

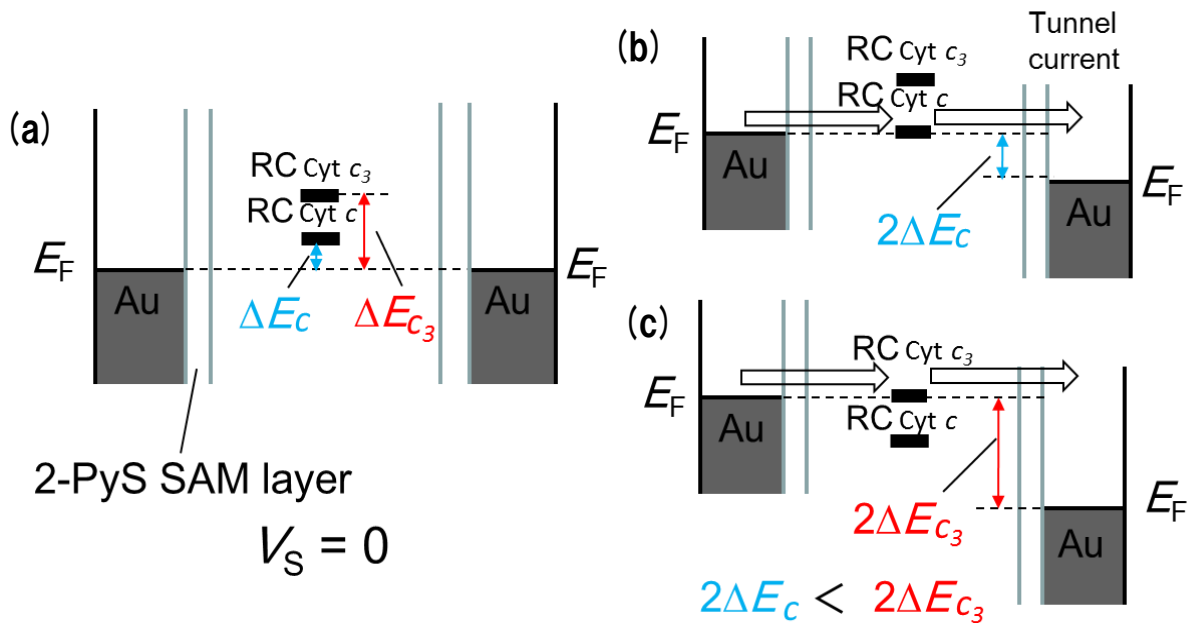


Fig.4 Cyt  $c$  と Cyt  $c_3$  の酸化還元中心のトンネリングのエネルギー図