

## ナノ共振ずり測定を用いた雲母表面間における水和イオンの摩擦・潤滑特性評価

(東北大多元研・CREST) ○鈴木伸・渡邊志緒美・佐久間博・栗原和枝

【緒言】 水和イオンは多くの分野で重要であり様々な研究がなされてきた。特に固体表面の水和はマイクロデバイスなど狭いスペース中の液体の流れ、生体内潤滑にとって重要であり、その摩擦・潤滑特性をはじめとする物性の理解が期待されている。今回我々はナノ共振ずり測定装置を用いて、雲母表面間における電解質水溶液の粘性、摩擦・潤滑特性の直接測定を行い、Li・Na・Cs イオンの水和層のレオロジー・トライボロジー特性評価を行った。

【実験】 共振ずり測定装置の概略図を Fig.1 に示す。雲母表面間に試料を挟み、等色次数干渉縞 (FECO) を用いた光干渉法から表面間距離 ( $D$ ) を測定した。また各距離において、上表面を水平に振動させ、その応答 ( $U_{out}/U_{in}$ ) を角周波数  $\omega$  に対してプロットすることで共振曲線を測定した。この測定は表面が離れているときは上表面だけが駆動し、

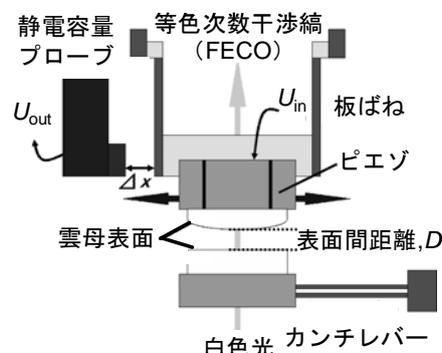


Fig.1 共振ずり測定装置の概略図

また、雲母同士を接触させると高周波数側

(584 rad/s) にピーク (mc) が現れる。表面間に試料液体を挟むと低周波数側にピークが現れ、そのピーク強度は減少した。これは表面を近づけていくことにより表面に挟んでいる液体の構造化により粘度が上昇するからである。さらに表面を近づけるとピークが高周波数側へと移行する。これは試料の粘度が急激に増大し、上表面の駆動が下表面にも伝わるためである。これらピーク強度と共振周波数の変化および垂直方向に加えた負荷  $L$  から、水和層のトライボロジー特性を評価した。試料は LiCl (60 mM)・NaCl (10 mM)・CsCl (13 mM) 水溶液を用い、表面へのカチオンの吸着密度が同じになるように濃度を調製した。

【結果と考察】 Fig.2 に LiCl 水溶液の共振曲線を示す。表面間距離を 300 nm 付近から徐々に近づけていくと約 10 nm までは共振ピークに変化が見られなかった。約 5 nm 付近から 206 rad/s (分離側) のピークが徐々に減少し始め、距離 2.8 nm までは

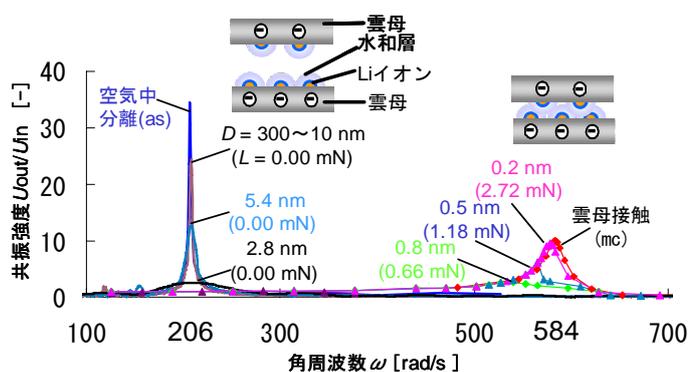


Fig.2 雲母表面間の LiCl (60 mM) 水溶液の共振曲線

分離側のピークが確認でき、それ以下の距離では確認できず分離側のピークが消滅した。さらに表面を近づけていくとピークは高周波数側へと移行し、0.8 nm 付近から 584 rad/s (雲母接触側) 近くにピークが出現し始めた。表面を近づけ高負荷をかけていくことにより最終の厚みは 0.2 nm まで押し込むことができた。

NaCl 水溶液は LiCl 水溶液と非常に似た挙動を示すことがわかった。CsCl 水溶液は 20 nm 付近から分離側のピークが減少し始め、ピークが 1.8 nm 付近から接触側に現れ、最終的に  $D = 0.7$  nm まで押し込むことができた。

得られた共振曲線を物理モデルで解析し、試料の粘性抵抗係数を決定した。得られた粘性抵抗係数より有効粘性率 ( $\eta_{\text{eff}}$ ) を求め、表面間距離に対してプロットした (Fig.3)。LiCl・NaCl・CsCl それぞれの有効粘性率は 3 nm・2.5 nm・5 nm 以下で急激に増大し始めた。

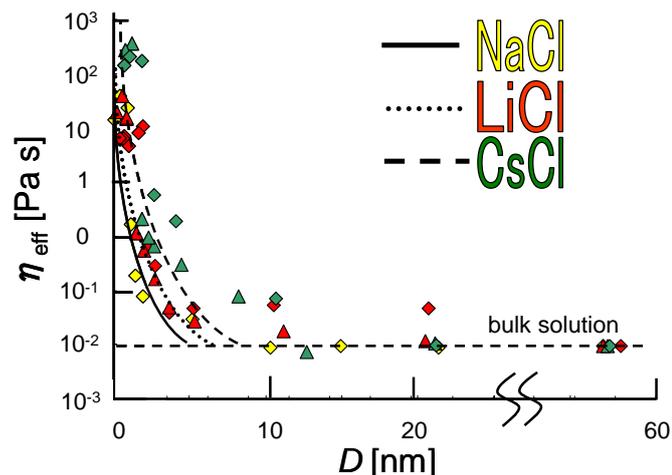


Fig. 3 各水溶液の有効粘性率

LiCl 水溶液の共振曲線の変化から考察したモデルを Fig.4

に示す。分離側のピークが大きく減少する  $D < 3$  nm では第二水和層よりも外側の水の間で粘度が上昇し始める。 $D < 1.5 \pm 0.5$  nm では高粘度(バルクの  $10^2 \sim 10^4$  倍)を示すが共振ピーク強度が増大しないことから、高潤滑性を保持しているこ

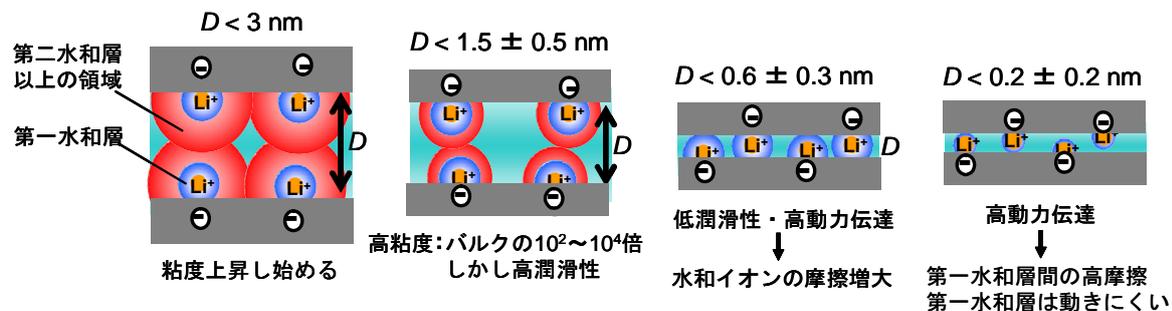


Fig. 4 雲母表面間の(60 mM)LiCl 水溶液の共振曲線から考えられるモデル

とがわかる。 $D < 0.6 \pm 0.3$  nm では高周波数側での共振ピーク強度が増大し低潤滑性・高動力伝達を示す。これは第一水和層間の摩擦が増大しているためだと考えられる。 $D < 0.2 \pm 0.2$  nm では高動力伝達は第一水和層間の高摩擦によるものだと考えられる。また NaCl・CsCl についても、表面間距離・負荷に依存した共振カーブの変化をイオン半径・水和層の厚みとの関係から議論する。

#### 【参考文献】

- (1) H. Sakuma, K. Otsuki, K. Kurihara, *Phys. Rev. Lett.*, **96** (2006) 046104.
- (2) C. D. Dushkin and K. Kurihara, *Rev. Sci. Instrum.* **69**, 2095 (1998)