

F107

流脈線ローブに基づく3次元攪拌槽内の層流混合機構

(阪大基工) ○ (正) 井上義朗*・(正) 橋本俊輔

【緒言】

攪拌槽内の流れは3次元、非定常、非対称であるため、たとえ層流といえども流体混合機構の全貌を理論的に明らかにすることは困難であった。

筆者等は、攪拌翼の先端付近から伸びる流脈線の形状が混合機構解析の有力な手段となり得ることを示した¹⁾。本研究では、攪拌槽内の r , θ , z の各方向において良混合が起こる機構を明らかにする。

【混合の進行と混合界面形状変化】

流体混合過程の進行は、多数の流体粒子間の相互位置関係の時間変化として表現される。したがって、流体の3次元流体混合現象を解析する方法の1つは、初期に設定された初期混合界面が、時間経過とともに変形する過程と形状変化を追跡することである。

パドル翼やディスクタービン翼系では、翼の上下にできる2次流渦界面が、翼の羽根通過に起因する摂動によって進行波となり、それが側壁近傍で上下に大きく伸張・湾曲し折畳まれて襞状構造を形成し、層流対流混合の原因となることがわかっている¹⁾。

本研究では、混合界面として、このような2次流渦界面上から伸びる無数の流脈線の集合体として表現される曲面(流脈シート)を採用する。この曲面は、 θ 方向に波打ちながら r 方向に広がり、側壁近傍で z の上下方向に伸びて折畳まれる襞状構造を形成し、その襞が各2次流渦の中心周りに巻き付く。この1枚の曲面は、交差することなく、孤立混合領域を除く、全空間を稠密に埋め尽くすように広がる。

【多重螺旋曲面上の流脈線ローブ】

2次流渦界面上の1点から伸びる流脈線は、それ自身は3次元空間内で極めて複雑な形状を描くが、 θ 方向に回転するにつれて半径 r が増加し、上下の2次流渦の中心回りに巻き付く多重螺旋曲面上に拘束されることがわかっている¹⁾。図1の多重螺旋曲面の鉛直断面写真を図2に示す。この多重螺旋曲面も3次元空間を稠密に埋め尽くすことができる。

その形状は前述の混合界面と似ているが、前者は非螺旋曲面である点で異なる。したがって、両曲面は横断的に交差し、その交線が流脈線となっている。

2次流渦界面から伸びる各流脈線にはそれぞれ前述の固有の多重螺旋曲面が付随し、その曲面上で流脈線は入れ子構造のローブ状曲線を描く。この流脈線ローブの r - z 面への斜影模式図を図3(b)に、 θ 方向と z 方向に伸展した多重螺旋曲面上の模式図を図3(a)に示す。1本の流脈線は自己交差するこ

となく面上を覆うため、流脈線ローブも交差することなく3次元空間内を稠密に覆うことができる。図3の模式図では、多重螺旋曲面が2次流渦の回りに巻き付く効果が省略されている。3次元実空間における多重螺旋曲面では、図3(a)の曲面を水平な赤色破線部で折り曲げた形状となるため、その上に描かれた流脈線ローブの形状も3次元実空間ではより複雑に見える。簡易流動モデル²⁾を用いて計算した流脈線ローブの(a) r - z 面への斜影図、(b) 水平面への斜影図、(c) $\theta/2\pi$ - z 面への斜影図および(d) $\theta/2\pi$ - r 面への斜影図を図4に示すが、一見複雑に見えるこれらの流脈線形状も、前述の視点から見直せば、その背後にある規則性を読み解くことができる。

図1 攪拌槽内の流脈線ローブの鉛直断面写真
図2 多重螺旋曲面の鉛直断面写真
図3 (a) r - z 面への斜影図、(b) 水平面への斜影図

【3次元流体混合の鑄型】

流れが層流である限り、流体混合は明確な手順に従って決定論的かつ規則的に進行するはずである。

多重螺旋曲面上の流脈線ローブが、螺旋曲面上を稠密に覆う入れ子構造を形成し、さらにその多重螺旋曲面自体が3次元空間を稠密に覆うならば、流脈線を交線とする混合界面も流脈線ローブと同程度の複雑さで3次元空間を覆い尽くすといえる。これによって、1次元の流脈線ローブの形状から3次元攪拌槽内の2次元混合界面の特性を推測することが可能になる。この意味で、1次元の流脈線ローブの幾何学的形状は、3次元流体混合現象の鑄型をなすといえる。

【参考文献】

- [1] Y. Inoue et al.; *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **35**, 265-273 (2009)
[2] Y. Inoue et al.; *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **35**, 201-210 (2009)

* inoue@cheng.es.osaka-u.ac.jp

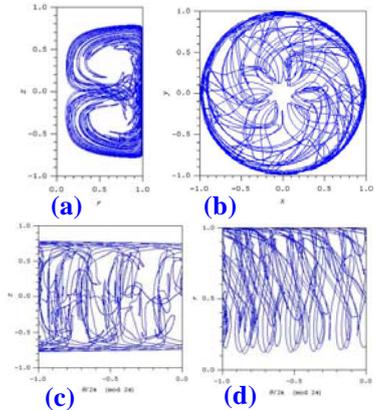


図4

流脈線の (a) r - z 斜影図、(b) 水平斜影図、(c) $\theta/2\pi$ - z 斜影図、(d) $\theta/2\pi$ - r 斜影図