

<新製品>

# 新しいヘリカルリボン翼 『ログボーン』(特許・商標登録出願中)

## A New Helical Ribbon Impeller "LOGBORN"



技術開発本部 研究開発部  
菊池 雅彦  
Masahiko Kikuchi  
高田 一貴  
Kazutaka Takata  
岡本 幸道  
Yukimichi Okamoto

In an effort of seeking for an impeller that can mix more viscous liquid with less energy and in shorter time than any existing impeller, we have produced a new helix impeller LOGBORN, consisting of a pair of bottom ribbons of a logarithmic vortex curve, a pair of helical ribbons, and supporting frame, each member being set at optimized dimension for efficient mixing. Maximum liquid viscosity LOGBORN can mix is over 3,000 Pa·s and mixing speed is increased at least 1.5 times to an existing ordinary helix. Especially, when LOGBORN is applied to a mixing of high viscous liquid with low viscous additives, mixing speed becomes four times faster than that of the ordinary helix.

### まえがき

ダブルヘリカルリボン翼(以下リボン翼と略称)はその優れた混合性能から高粘度液の攪拌に広く用いられている<sup>1)</sup>。しかし、従来型リボン翼を用いた場合、

- ①高粘度液に低粘度液を混合するのに長時間を要する。
- ②槽底部に混合不良部が生じ易い。
- ③攪拌軸近傍の流動不良に起因する付着等が発生し易い等が問題になる場合が多い。

回転数を大きくすることで従来型リボン翼の混合速度を向上させることは可能だが、攪拌動力が回転数の自乗に比例して増大するため、500 Pa·s以上の粘度の液を従来型のリボン翼で混合することは現実の問題としては難しい。

当社はこのたび、これらの従来型リボン翼の問題点を解消し、高効率でかつ極めて高粘度まで対応可能な新型リボン翼『ログボーン』を開発した。以下に『ログボーン』の

特長を紹介する。

### 1. ログボーンの形状

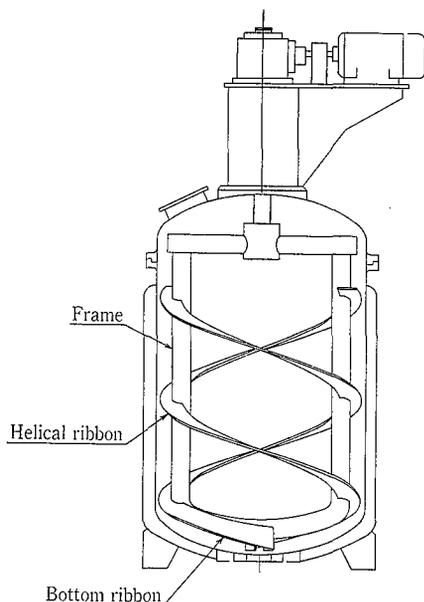
ログボーンを装備した攪拌槽を第1図に示す。ログボーンの形状面の特長とその機能は次の通りである。

- ①フレーム  
攪拌軸に代わってリボン翼を支持し、攪拌槽中心部の混合不良を防ぐ。さらにリボン翼とフレームの相互作用により混合を促進するフローパターンを形成する。
- ②ボトムリボン翼  
槽底部の流体を半径方向に流動させ、槽底部の混合不良を解消する。
- ③ヘルカルリボン翼  
フレーム構造リボン翼に最適なディメンジョンを採用し、混合性能を向上させる。

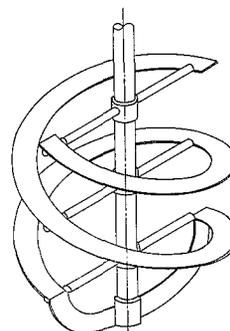
#### 1.1 フレーム構造

従来型リボン翼の問題点を明確にし、フレーム構造の効果を確認するためにそれぞれのリボン翼の流動状態の検討を行った。検討手法としては、数値実験(数値流体力学: CFD)<sup>2)</sup>とレーザードップラー流速計(LDA)<sup>3)</sup>による流速測定によった。

第2図<sup>1)</sup>に示す従来型リボン翼と第1図に示すフレーム構造のリボン翼の軸方向流速分布を比較し第3図に示す。従来型リボン翼では攪拌槽中心部の攪拌軸近傍の流動状態



第1図 ログボーンを装備した攪拌槽  
Fig. 1 LOGBORN set into a mixing vessel



第2図 従来型リボン翼  
Fig. 2 Conventional ribbon impeller

図3 軸有および軸無しリボン翼の軸方向流速分布の相違

ig. 3 Difference of helices with and without impeller shaft in axial velocity distribution

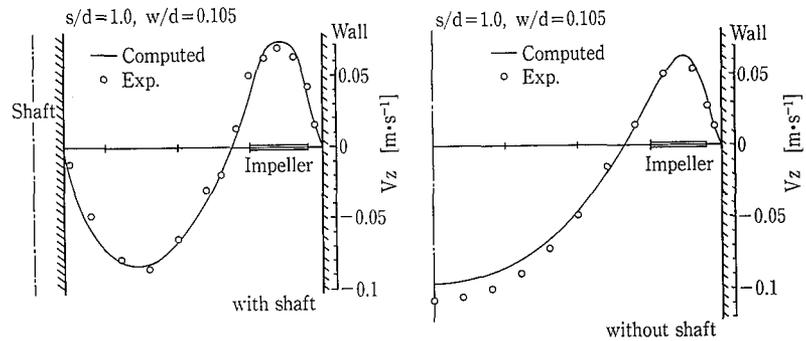
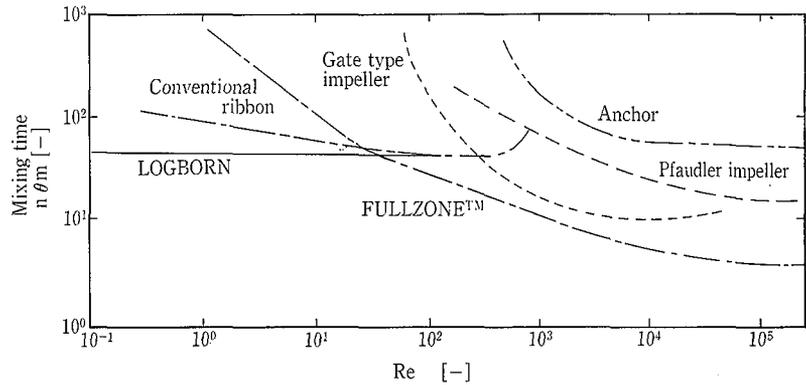


図4  $n \cdot \theta m$ -Re 曲線の比較

ig. 4 Comparison of  $n \cdot \theta m$ -Re curves for several impellers



極めて悪い。つまり攪拌軸近傍では半径方向及び軸方向流速はほぼ“0”，また周方向流速も攪拌軸外端の周速とほぼ同じで極めて小さい。この結果、攪拌軸近傍の混合不良、付着と言った問題が発生する。一方、フレーム構造のリボン翼では攪拌軸に代わりフレーム構造を採用することにより攪拌槽中心部の流動性が飛躍的に向上する。さらに、混合シミュレーション及び混合実験の結果、このフレームは攪拌槽中心部の流動改善以上にログボーンの混合性に向上に大きく貢献していることがわかった。つまりログボーンはリボン翼とフレームの相互作用により、混合を短縮するフローパターンを形成することがわかった。従来、リボン系の翼に対してなされていた解釈は、フローパターンはほとんど同じで循環流量が増加すればそれに反比例して混合時間が短くなるという考え方であった。しかしログボーンでは、フレームを挿入することにより上昇流と下降流との間で流体の入れ替えが促進され混合を短縮するフローパターンを作ることができる。

## 2 ボトムリボン翼

従来型リボン翼では第2図に示すように、槽底部にはアーカー型スクレーパーを設置することが多い。この攪拌翼は槽底部流体を半径方向に流動させる能力が弱いため槽底部に混合不良部が出来易い。これを改善するためには槽底部の流体を半径方向に流動させ、リボン翼の作る上下循環流と繋ぐような流れを作る攪拌翼が必要である。そこで、胴部のリボン翼が流体を上下に送る原理を応用して、流体を半径方向に送るには、円周方向に対して一定の角度を有する曲線、対数螺旋に沿ってリボンを形成すれば良いと考えた。さらに槽底の鏡板に沿って滑らかに胴部リボンに接続することを考慮した結果、第1図に示すボトムリボン翼が考案された。このボトムリボン翼と直胴部のリボン翼を連続させることにより攪拌槽内全域にわたるフローパター

ンが形成され槽底部の混合不良を解消することが出来た。

## 1.3 リボン翼ディメンジョン

従来型リボン翼の欠点を解消したフレーム構造リボン翼を、より効率良い攪拌翼にするために、フレーム構造リボン翼に最適ナリボン幅及びリボン翼ピッチについて検討を行った。その結果、混合時間を最短にするディメンジョンとして従来とほぼ同じリボンピッチと従来よりも若干広いリボン幅の組み合わせが選ばれた。

フレームの効果及びリボン翼ディメンジョンの影響に関する詳細な検討結果については本誌別報第7頁『新型リボン翼「ログボーン」の開発への数値解析の適用』を参照頂きたい。

## 2. ログボーンの攪拌特性

### 2.1 混合特性

混合性能を評価するために混合実験を行った。実験は、ヨード澱粉の呈色をチオ硫酸ナトリウムで還元脱色する脱色法を用いた。チオ硫酸ナトリウム溶液は攪拌液と同粘度に調整したものを用いた。またチオ硫酸ナトリウムの過剰量は20%とした。混合時間は脱色過程の連続写真から決定した。本実験では、槽径 0.2 m, 槽高 0.4 m, 容量 10 ℓ 及び槽径 0.4 m, 槽高 0.8 m, 容量 80 ℓ の大小2種の攪拌槽を使用した。

ログボーンと従来型リボン翼について比較した結果を写真1, 2に示す。10 Pa·s 及び 300 Pa·s の各粘度で攪拌動力を同一にして脱色の速さを比較した。ログボーンでは、混合不良部の発生が無く、しかも従来型リボン翼に比べ均一で効率良い混合が行われている。なお写真2の従来型リボン翼では8~10分の時点でも攪拌軸近傍の混合が完了していない。

上記の混合時間を  $n \cdot \theta m$ -Re 線図として整理し、各種の攪拌翼の線図<sup>3)</sup>と比較して第4図に示す。ログボーンは

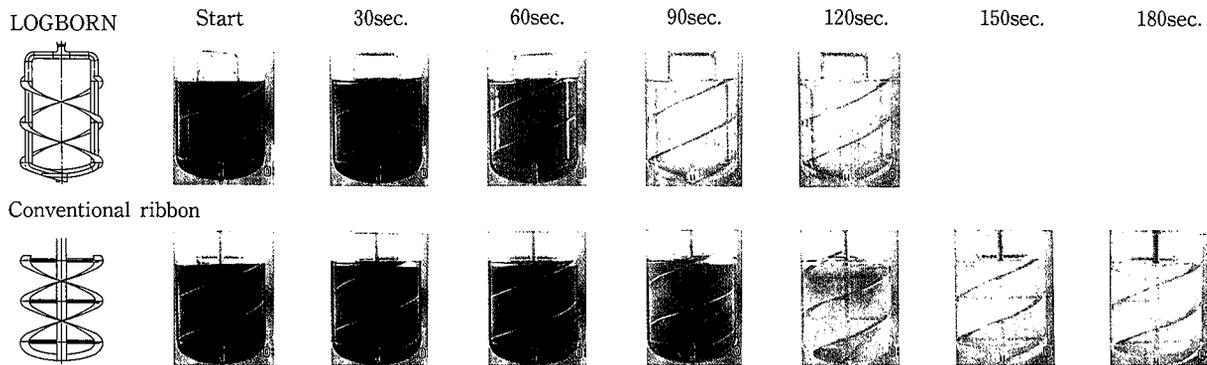


写真 1 ログボーンと従来型リボン翼の混合性能の比較 (Re=10, 32.6 rpm, 10 Pa·s)  
 Photo. 1 Comparison of mixing performance between LOGBORN and conventional ribbon impeller

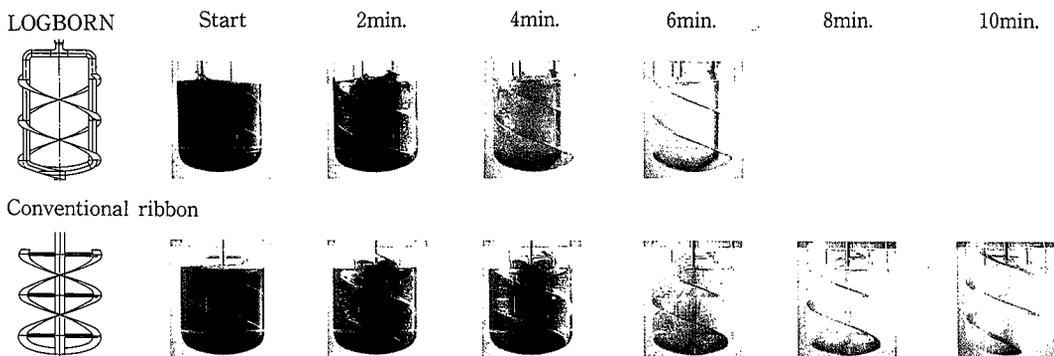


写真 2 ログボーンと従来型リボン翼の混合性能の比較 (Re=0.03, 10 rpm, 300 Pa·s)  
 Photo. 2 Comparison of mixing performance between LOGBORN and conventional ribbon impeller

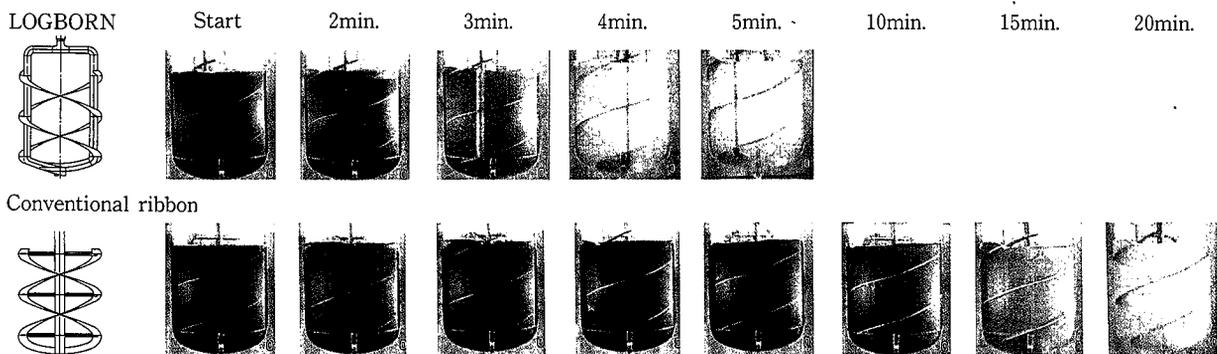


写真 3 ログボーンと従来型リボン翼の異粘度液の混合性能の比較 (32.6 rpm, 16 Pa·s の液に 0.001 Pa·s の液を添加)  
 Photo. 3 LOGBORN and conventional ribbon impeller in mixing of watery additives into viscous syrup

Re<20 の完全層流域で従来用いられているどの攪拌翼よりも小さな  $n \cdot \theta m$  であり、優れた混合性能を有することがわかる。特に Re<5 の高粘度では従来型リボン翼の半分以下の  $n \cdot \theta m$  である。つまりログボーンは従来型リボン翼と同じ混合性能(同じ混合時間)を得るのに 1/2 以下の回転数で十分であり、攪拌動力的には従来型リボン翼の  $(1/2)^2=1/4$  以下で十分であることを意味する。また、同じ攪拌動力で攪拌した場合、ログボーンは従来型リボン翼の半分以下の時間で混合が達成可能であることを意味する。

一方、実際の攪拌操作では前述の様な同一粘度液の混合よりも粘度の異なる液同士の混合が多く、その方がプロセス上問題になる場合も多い。そこで粘度が異なる液の混合実験として、ヨウ素で着色した約 16 Pa·s の粘度の水飴水溶液 50 l を 0.001 Pa·s の粘度のチオ硫酸ナトリウム水溶

液 1 l で脱色する実験を行った。ログボーンと従来型リボン翼について比較した結果を写真 3 に示す。両翼の攪拌動力をほぼ同一にして脱色の速さを比較した。ログボーンは、従来型リボン翼の 1/4 の時間で脱色が完了し、極めて効率良い混合が行われていることがわかる。

このようにログボーンは粘度が高くなればなるほど、また粘度の異なる液の混合の様に攪拌条件が厳しくなればなるほどその真価を発揮する。

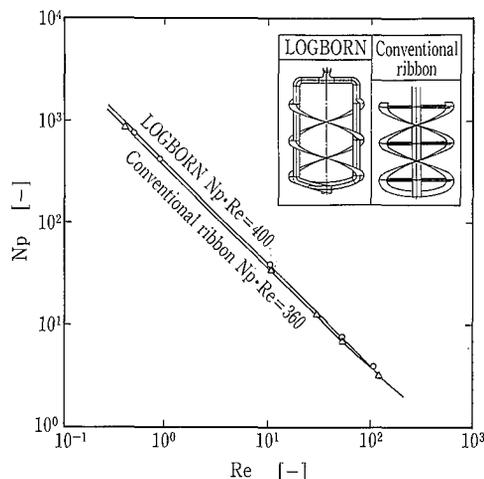
## 2. 2 動力特性

動力特性は歪ゲージを用いて測定した<sup>5)</sup>。ログボーンと従来型リボン翼の  $N_p-Re$  線図を第 5 図に示す。

高粘度攪拌翼の動力特性を示す値である  $N_p \cdot Re$  数は、液張り込み高さ  $H/D=1.25$  において

従来型リボン翼 :  $N_p \cdot Re=360[-]$

ログボーン :  $N_p \cdot Re=400[-]$



第5図 攪拌動力特性  $N_p$ - $Re$  線図

Fig. 5 Impeller power characteristic  $N_p$ - $Re$  diagram

となり、ログボーンでは従来型リボン翼に比べ約10%大き

い。

この  $N_p \cdot Re$  の10%の増加はフレーム設置に起因する。

### 3 伝熱特性

伝熱特性を評価するために第6図に示すジャケット式伝熱実験装置及び測定システムを用いた。攪拌槽は混合実験で用いた槽径0.4mのものと同形状である。温度計測には線径0.3mmの銅・コンスタンタン熱電対を使用した。

この装置では、熱媒(温水または冷水)流量とジャケット出入口温度を測定し、攪拌槽内の攪拌液の温度を測定することにより総括熱伝達係数を測定できる。また、槽壁内に設置した熱電対により槽壁での局所熱流束を測定し局所熱伝達係数の測定もできる構造となっている。

ログボーンと従来型リボン翼について水飴水溶液の加熱実験を行った。その結果、第1表に示すように同一攪拌条件下でログボーンの槽内側境界膜伝熱係数は従来型リボン翼のそれよりも約10%大きく伝熱性能も優れている。また槽内の温度偏差も従来型リボン翼の半分程度と小さく温度均一性にも優れている。

### 4 ログボーンの特長及び用途

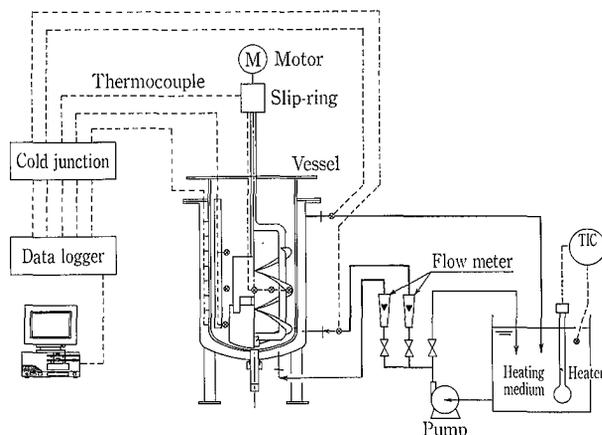
#### 《特長》

- ①混合不良部が無い。
- ②従来リボンの1.5倍～4倍の混合性能を有する。
- ③従来型リボン翼の20～50%の攪拌動力で同等の混合性能を発揮する。
- ④高粘度液中に低粘度の添加液を効率良く混合出来る。
- ⑤混合可能な最大粘度は3000 Pa·s を越える。
- ⑥攪拌軸への付着が無い。
- ⑦槽内の均一な温度分布が得られる。
- ⑧皿型、半楕円、コーン型底板に対応可能

#### 《適用分野》

ログボーンの特長を活かした適用分野として

①汎用高粘度混合槽、②高粘度用バッチ反応槽及び③潜熱除去方式のステレン重合機を例とする高粘度用連続重合槽が考えられる。



第6図 伝熱実験装置概略図

Fig. 6 Schematic diagram of the heat transfer test apparatus

第1表 ログボーンと従来型リボン翼伝熱係数の比較  
(粘度: 10~100 Pa·s, 回転数: 32.6 rpm)

Table 1 Comparison of heat transfer coefficient between LOGBORN and conventional ribbon impeller

Impeller	$h$ [W·m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
LOGBORN	141
Conventional ribbon	129

### むすび

新型ダブルヘリカルリボン翼『ログボーン』について、その構成とテストで確認した攪拌性能をいくつか紹介した。ログボーンの性能がユーザ各位の高粘度攪拌プロセスの改善、改良に結びつくことを期待している。また、今後ともログボーンをユーザ各位の個々のプロセスに対応させるための実験と改良に積極的に取り組んでいきたい。

#### 〔使用記号〕

D	: 攪拌槽径	[m]
d	: 攪拌翼スパン	[m]
H	: 液深	[m]
h	: 境界膜伝熱係数	[W·m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
n	: 攪拌翼回転数	[s <sup>-1</sup> ]
$N_p$	: 攪拌動力数	[—]
$P_v$	: 単位容積当りの攪拌動力	[kW·m <sup>-3</sup> ]
Re	: 攪拌レイノルズ数 = $\rho nd^2/\mu$	[—]
$V_z$	: 軸方向流速	[m·s <sup>-1</sup> ]
$\theta_m$	: 完全混合時間	[s]
$\rho$	: 攪拌液密度	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$\mu$	: 攪拌液粘度	[Pa·s]

#### 〔参考文献〕

- 1) 高分子学会: 高分子製造プロセスのアセスメント 8, (1986)
- 2) 高田一貴, 佐藤栄祐, 菊池雅彦: 神鋼パテック技報 Vol. 34, No. 3 (1990)
- 3) 高田一貴, 伊藤久善, 菊池雅彦: 神鋼パテック技報 Vol. 36, No. 3 (1992)
- 4) 菊池雅彦, 高田一貴, 伊藤久善, 佐藤栄祐: 神鋼パテック技報 Vol. 35, No. 1 (1991)
- 5) 岡本幸道, 神鋼パテック技報 Vol. 31, No. 3 (1987)