

# フルゾーンの適用例の紹介

## Applications of "FULLZONE"



(化)技術部 設計第1課  
徳岡 洋由  
Hiroyuki Tokuoka

In response to the increasing technical demand for high efficiency and versatile applications in mixing operations, FULLZONE was brought to market in January 1991. FULLZONE can work with higher efficiency than conventional impellers when used in such operations as blending of low-to high-viscosity liquids, suspension of concentrated solid particles, dispersion of gas taken in from liquid surface, and jacket heat transfer.

This paper describes some applications of FULLZONE for a commercial reactor.

### まえがき

当社が高効率攪拌翼『フルゾーン』を上市して3年が経過した。この間、攪拌槽に対する要求はより高負荷化、高効率化を求めており、その要求を満足する攪拌翼として多数のユーザに当社のフルゾーンを採用していただいている。

フルゾーンが選定される背景には次のようなユーザ各位の要求がある。

- ・高粘度化、高濃度スラリー等の高負荷化
- ・伝熱性能、攪拌性能向上によるバッチ時間の短縮
- ・多目的プロセスへの適用

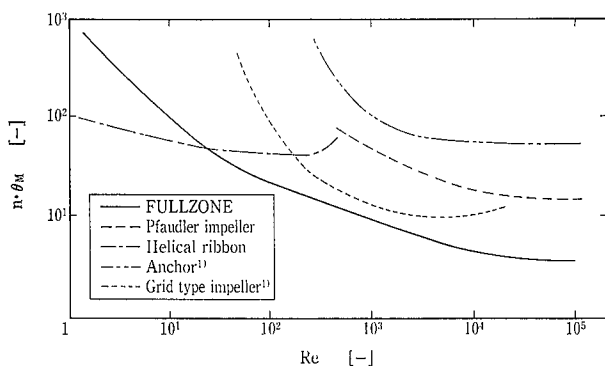
これらの項目を単一にとらえると必ずしもフルゾーンでなく、他の翼形式でも充分対応可能である。しかし実際の攪拌操作は、ほとんどが複数の操作を同時に満足する必要があり、この要求を満たす攪拌翼が選定されるのである。

本稿では、これらの高度化する攪拌ニーズに応える攪拌翼として『フルゾーン』の適用例を紹介する。

### 1. 高粘度液への適用

第1図は各種攪拌翼の混合性能を示す線図である。この  $n \cdot \theta_M - Re$  線図は単に混合時間の差を示すだけのものではなく、適用できる粘度領域の目安を知ることができる。

適用可能な粘度域は  $n \cdot \theta_M$  が急激に増加する  $Re$  域がどこにあるかということできまる。すなわち  $n \cdot \theta_M$  が急激に

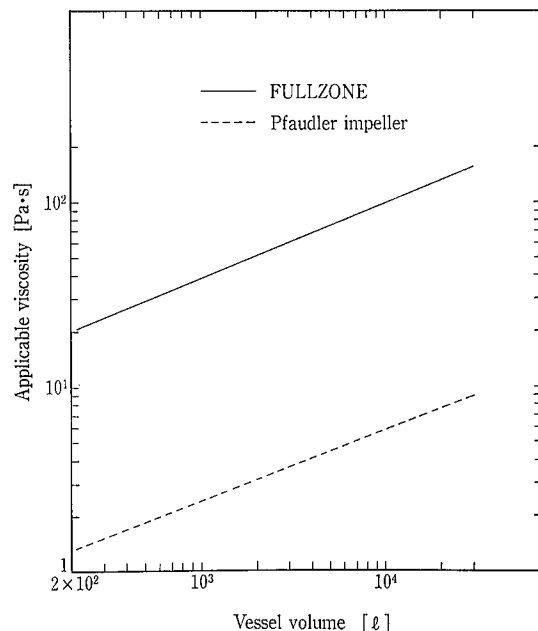


第1図  $n \cdot \theta_M - Re$  曲線の比較  
Fig. 1 Comparison of  $n \cdot \theta_M - Re$  curves for several impellers

増加する領域は、槽内に流動の低下が生じていることを表しており、この流動の低下が混合不良や伝熱不良を引き起こすことになるからである。例えば、フアウドラー翼の場合は  $Re=300$  が適用の目安となる。一方、フルゾーンは  $Re=20$  でヘリカルリボンと同等の混合性能を有し、適用粘度域は  $Re=10$  が目安となる。

攪拌槽の  $Re$  は  $Re = \rho n d^2 / \mu$  で表され、同じ粘度の液を扱う場合でも攪拌槽の大きさによって  $Re$  は変化する。特に攪拌槽の大型化に伴い  $Re$  は大きくなっていく。

第2図はフルゾーンとフアウドラー翼で攪拌槽容量と適用粘度域を比較したものである。フルゾーンは  $Re=10$ 、フアウドラー翼は  $Re=300$  をもとにしている。フルゾーンの適用粘度域はフアウドラー翼の約10倍であり、優に10 Pa·s を超え、非常に広い粘度範囲で使用できることが読



第2図 攪拌槽容量に対する、適用粘度の比較  
Fig. 2 Comparison of applicable viscosity for vessel volume

第 1 表 10 m<sup>3</sup> 攪拌槽における総括伝熱係数の比較  
 Table 1 Comparison of over all U for 10 m<sup>3</sup> agitated vessel

Material	GLASSLINED REACTOR		STAINLESS CLAD REACTOR	
Vessel volume	10 m <sup>3</sup>		10 m <sup>3</sup>	
Liquid viscosity	1 Pa·s		1 Pa·s	
Jacket medium	Water		Water	
P <sub>v</sub>	0.3 kW/m <sup>3</sup>		0.3 kW/m <sup>3</sup>	
Impeller	Pfaudler impeller	FULLZONE	Pfaudler impeller	FULLZONE
hi [W/m <sup>2</sup> K]	267	383	267	383
his [W/m <sup>2</sup> K]	11 630	11 630	11 630	11 630
hw [W/m <sup>2</sup> K]	570	570	1 360	1 360
hjs [W/m <sup>2</sup> K]	5 810	5 810	5 810	5 810
hj [W/m <sup>2</sup> K]	2 900	2 900	2 900	2 900
U [W/m <sup>2</sup> K]	163	201	196	253

と取れる。10 m<sup>3</sup> 攪拌槽を例にとると Re=10 に相当する粘度は約 100 Pa·s となる。

フルゾーンの実績としては数 10 Pa·s はもとより 100 Pa·s を超える粘度条件にも使用されており、粘度変化を伴う種々のプロセスや異粘度の液液分散等、幅広く中高粘度液の攪拌に適用されている。

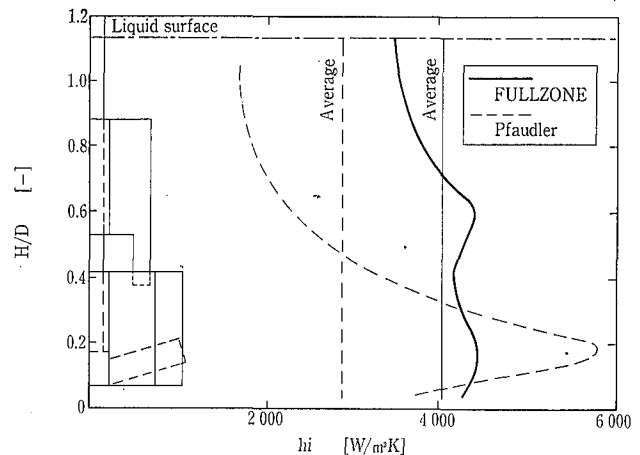
### 伝熱性能の向上

第 3 図にフルゾーンとファウドラー翼の局所伝熱係数の分布比較を示す。フルゾーンは槽内全域で一様に高い伝熱係数を示す。一方、ファウドラー翼は翼近傍では突出した伝熱係数を示すが、翼から遠ざかると急激に低下する。平均値で比較するとフルゾーンはファウドラー翼よりも約 40% 高い伝熱係数が得られることになる。

この伝熱係数の差をもとに、総括伝熱係数として比較しこの例を第 1 表に示す。第 1 表は 10 m<sup>3</sup> 攪拌槽をモデルにグラスライニング製とステンレスクラッド製の両者で、フルゾーンとファウドラー翼を比較した。内容液の物性条件は水の密度、比熱、熱伝導度を使用し粘度のみ 1 Pa·s とした。攪拌槽の胴板厚は外套圧力を 5 kg/cm<sup>2</sup>G とした場合の必要板厚を採用し、総括伝熱係数を推定した。

hi ではフルゾーンが約 40% 高い伝熱係数を示すが、総括伝熱係数で比較するとその差は小さくなる。これは板厚の伝熱係数、外套側の伝熱係数が加味されるためである。材質の違いはあるものの、グラスライニング製攪拌槽で約 10%、ステンレスクラッド製攪拌槽で約 25% の伝熱性能の向上が期待できる。一般にグラスライニングは伝熱面で不利であると考えられているが、フルゾーンの採用により 10% の効率化が図れることになる。

フルゾーン適用による伝熱性能の向上は多数のユーザからご報告をいただいている。中にはグラスライニング製攪拌槽で昇温、冷却を含め約 3 割の時間短縮が達成された例もあり、実プロセスにおけるフルゾーンの優位性が確認されている。更に、フルゾーンは伝熱性能の確保とともに、低剪断攪拌との両立が可能であり、大型の乳化重合反応機



第 3 図 槽壁面での局所伝熱係数分布 (水, P<sub>v</sub>=0.15 kW/m<sup>3</sup>)  
 Fig. 3 Local heat transfer coefficient distribution on the vessel wall (Water, P<sub>v</sub>=0.15 kW/m<sup>3</sup>)

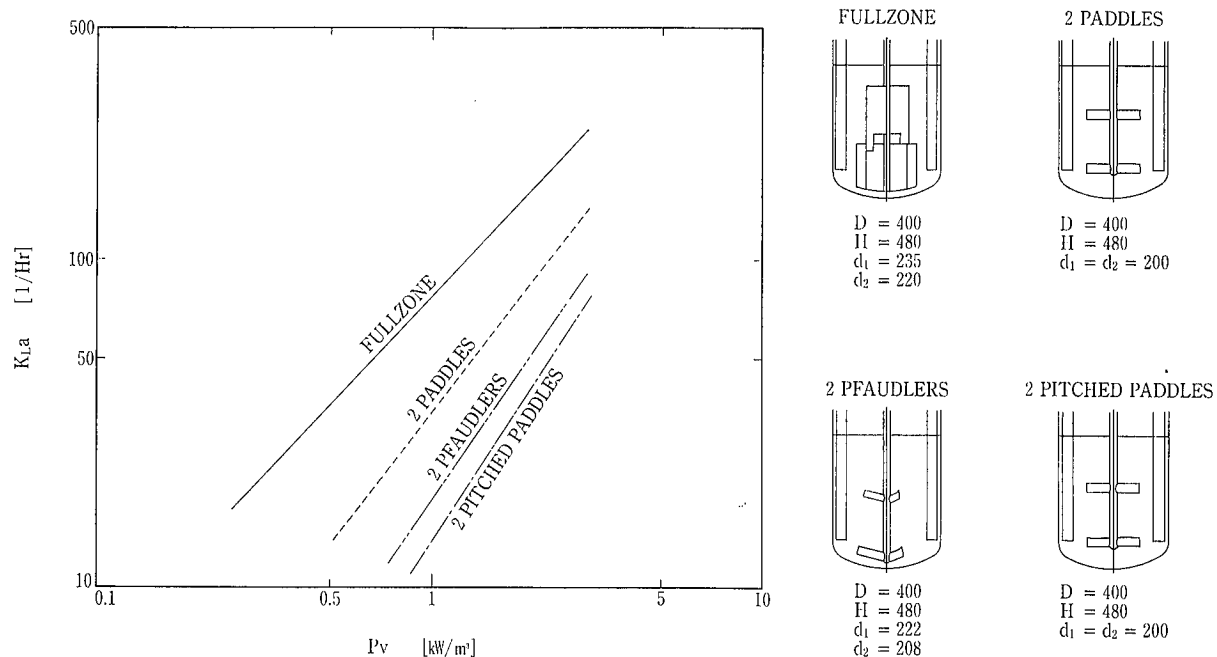
を主に多数適用されている。

### 3. 表面ガス吸収への適用

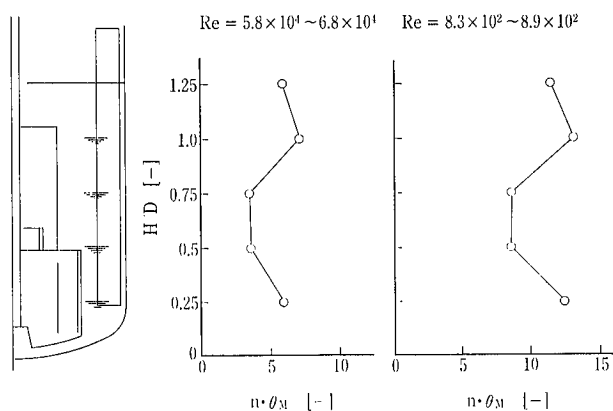
フルゾーンは液液系攪拌、固液系攪拌のみならず表面ガス吸収を主とする気液系攪拌でも優れた攪拌性能を有する。

第 4 図にフルゾーンと他の翼形式の表面ガス吸収による K<sub>La</sub> 比較を示す。この比較データは水-空気系で攪拌により表面から液中に取り込まれた空気中の酸素が、水に溶解していく時の濃度の経時変化を溶存酸素計で測定し K<sub>La</sub> を算出した。フルゾーンは等動力で他の翼形式の約 3~4 倍の K<sub>La</sub> を示しており、表面ガス吸収性能に非常に優れていることがわかる。

これまで表面ガス吸収に対しては、バッフル抵抗を小さくし積極的にボルテックスを形成させるような攪拌システムを選定してきた。これに対しフルゾーンは比較的強いバッフル条件下で、ボルテックスを形成せずにガスを引き込



第4図 液表面からのガス吸収性能の比較  
Fig. 4 Comparison of performance of gas absorption from surface



第5図 液深による混合性能の変化  
Fig. 5 Change of mixing time for liquid volume

んで分散するという特長がある。したがって、蛇管コイルや多数の冷却管等と併用することが可能である。

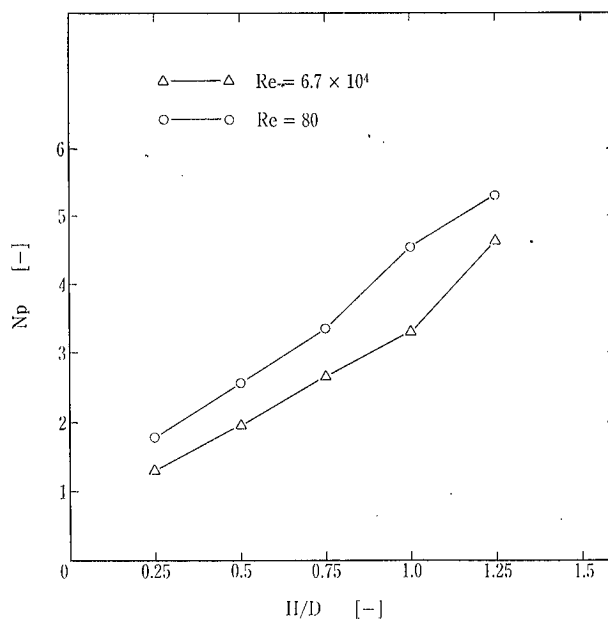
ガスを軽い物質と考えれば、液液系攪拌の軽液の分散や固液系攪拌の軽い粉体の分散に置き換え、ガス分散と同様にフルゾーンの性能を評価することが出来る。

表面ガス吸収の適用例として、水素添加反応機の実績がある。水素添加反応では触媒の均一浮遊も同時に重要な要素であり、固液攪拌の面でもフルゾーンの優れた攪拌性能が生かされている。

#### 4. 液深変化への対応

液量が増えるプロセスや、多目的攪拌槽では液量の変化に対して、安定した混合性能が要求される。

第5図にフルゾーンの液深による混合性能の変化を示す。Re域は乱流域(水)と遷移域である  $Re \approx 900$  の2種で比較した。フルゾーンは  $H/D=1.25$  を設計条件とした



第6図 液深による Np の変化  
Fig. 6 Change of Np for liquid volume

翼高さの羽根を使用し、液高さを変化させ混合実験を行った。フルゾーンは  $H/D=0.25 \sim 1.25$  まで液深の変化に対し、ほぼ一律な優れた混合性能を有している。また粘度の変化に対しても優れた混合性能が維持されている。特に、液面がどこにあろうが混合不良を招くことは無く、液の飛沫も少なく液界面も安定している。写真1にその混合過程を示す。

次に、第6図に液深による Np の変化を示す。動力の面でも混合性能と同様、安定した特性を示す。Np は液深変



写真1  
液深による混合経過の比較  
Photo. 1  
Comparison in transition  
of mixing for liquid  
volume

七に対しほぼ比例関係にある。このことは同一の回転数で  
使用した場合、液深が変化しても  $P_v$  値はほぼ一定となる  
ことを意味している。

フルゾーンは単に液深変化を伴うプロセスだけでなく、  
粘度変化を同時に伴うプロセスにも適用が可能である。代  
表例としては、乳化重合ラテックスや脱揮、希釈工程のあ  
るプロセスが挙げられる。また多目的攪拌槽に対してはフ  
ルゾーンの液液、固液攪拌特性も同時に評価いただき、多  
くのユーザに採用していただいている。

#### h. その他の適用例

フルゾーンは2枚のワイドパドルを立体的に組み合わせ  
た攪拌翼であり、パドル翼やファウドラ翼と比較すると  
約4~5倍の  $N_p$  を示す。したがって、等動力となる回転  
数を比較するとフルゾーンはパドル翼やファウドラ翼の  
約1/2の回転数になる。また固液攪拌においても小さい動  
力で粒子の均一浮遊が得られることから、晶析などの低剪  
断攪拌に適用されている。

この他にフルゾーンの低剪断の特性を生かした例とし  
て、乳化重合におけるコアギュラムの減少が挙げられる。

#### h. す び

フルゾーンの適用例について、当社テストデータと実績  
をもとにいくつか紹介した。

各ユーザの反応機への適用に対しては、テスト用のラボ  
スケールフルゾーンをはじめパイロット設備の攪拌翼改造  
や、当社技術研究所のモックアップテスト機を活用し、改  
善の効果を確認していただいている。また納入実績もこの  
3年間で豊富になり、フルゾーンの優れた攪拌性能は各ユ

ーザにおいて立証されている。

今後は、これらの改善効果と豊富な実績をもとに、実プ  
ロセスにおけるフルゾーンの優位性を明らかにし、高度化  
する攪拌ニーズに対応していきたいと考えている。

#### 〔記号説明〕

D	: 攪拌槽径	[m]
d	: 攪拌翼スパン	[m]
H	: 液深	[m]
hi	: プロセス流体側境膜伝熱係数	[W/m <sup>2</sup> K]
his	: プロセス流体側汚れ伝熱係数	[W/m <sup>2</sup> K]
hj	: 外套側境膜伝熱係数	[W/m <sup>2</sup> K]
his	: 外套側汚れ伝熱係数	[W/m <sup>2</sup> K]
hw	: 攪拌槽胴板厚の伝熱係数	[W/m <sup>2</sup> K]
K <sub>La</sub>	: ガス吸収容量係数	[1/Hr]
N <sub>p</sub>	: 動力数	[—]
n	: 攪拌翼回転数	[1/s]
P <sub>v</sub>	: 単位容積当たりの攪拌動力	[kW/m <sup>3</sup> ]
Re	: 攪拌レイノルズ数 = $\rho nd^2/\mu$	[—]
U	: 総括伝熱係数	[W/m <sup>2</sup> K]
$\theta_M$	: 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) 菊池雅彦, 高田一貴, 伊藤久善, 佐藤栄祐: 神鋼パンテック  
技報 Vol. 35, No. 1 (1991/3)
- 2) 徳岡洋由: 神鋼パンテック技報 Vol. 36, No. 3 (1992/12)