

## RJM の詳細説明

### 1.スラッジ堆積防止、除去方法

スラッジの大部分は元来石油の成分であり、加熱または攪拌することによって多くは油中に溶解する。

溶解方法としては

- (1) 温度をつける。(固溶体の生成、成長抑制化)
- (2) 攪拌する。(個溶体の細分化、浮遊状態化)
- (3) 薬品を添加する。(個溶体抑制)

以上の方法を単独、あるいは組合せすることにより、堆積防止及び除去を図ることができ、タンク底部にスチームヒーターを設置したり、側板にプロペラ型ミキサーを設置するのが代表的な例といえる。

しかし、原油タンクの場合、加熱式は原油中の貴重な軽質分を飛散し、また引火点も低く非常に危険である。加熱費用も高く、原油タンクには不向きである。

ミキサー方式はタンク内部をまんべんなく攪拌するには数多く設置する必要があり、また回転軸部分のメカニカルシールの磨耗による漏油も懸念され、油の流体分布によっては死角が生じる。従来プロペラ型ミキサーを取付けたタンクでもスラッジが堆積している現状からみて、十分な効果を発揮していない。

また、薬品添加は価格も高く十分な攪拌が得られないため現在のところ実績も少なく、その効果はあまり明確ではない。

しかし、近年のタンク開放清掃工事において RJM と類似原理による COW 工法では、タンク内をジェットノズルで油を噴射することにより、スラッジに衝突させ堆積層を崩し、スラッジの溶解除去を行い高い評価を得ている。

RJM-Bとタンクミキサーの比較		
	R J M	タンクミキサー
設備面	① 既存ポンプ(出荷用など)を利用 ② タンク内に配管してRJMを設置(本設)	① モーター用ケーブルをタンクまで敷設 ② タンク側にミキサー重量用の強度対策

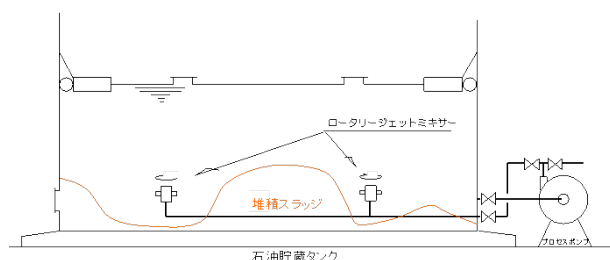
運転面	① 短時間・間欠運転で効果有り ② タンク内全域攪拌で死角なし	① 間欠運転ながらRJMより長時間必要 ② 偏流を生じ攪拌できない死角を生じる
経済面	① 初期投資少ない ② 電気不要	② 一般的にRJMより高い ② 電気使用料必要
安全・環境面	① 騒音・振動がない ② 特別な安全対策が不要	① 駆動軸の加熱、漏油の危険がある ② 騒音問題を生じることがある
維持補修面	① タンク開放時の点検のみで十分 ② 設置、解体、点検が容易	① 定期的に点検・保守が必要 ② 設置、解体、点検のいずれもRJMと比較し、時間と費用がかさむ

## 2. ロータリージェットミキサーシステム

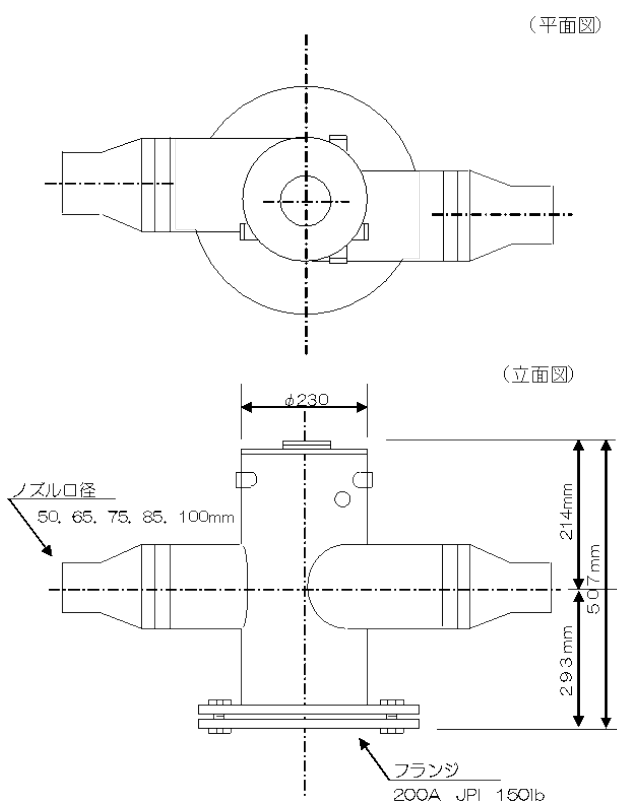
(1)概要 ロータリージェットミキサーシステムは、タンク開放工事のスラッジ除去に用いられている原油洗浄工法(COW工法)の液中循環溶解工法の応用である。システムを簡単に説明すると、タンク内の原油をポンプにて吸引しロータリージェットミキサーに圧送する。スラッジをめがけて、ノズルから原油流体を噴射させてスラッジを打壊攪拌しスラッジをタンク内の原油中に溶解分散させる方法である。

この方法は、タンカーの油槽洗浄工法として開発され、近年、陸上タンク開放工事がひんぱんに行われるに至って、安全かつ廉価な方法として用いられ実績も徐々に多くなっている。

### (2)システム概念図



### (3)ロータリージェットミキサー本体図



(4)ロータリージェットミキサーの性能 ポンプよりロータリージェットミキサーに高圧力の油を供給しノズル(双口)から高速噴射させジェットの力を利用してスラッジの打壊攪拌を行う。ノズルは中心よりオフセット構造になっており噴射の反力により回転する。回転は圧力、流速が大きい程、高速回転をするが、回転させると噴射エネルギーは回転エネルギーに変換されて打壊攪拌効果が半減してしまうため回転を抑制するための変速ギヤを内臓している。使用状態に応じて回転数は微調整が出来るようになっている。

材質は油中設置のため腐蝕等を充分考慮して採用している。

また、しゅう動部、駆動部の耐久性についても水中、原油中でも十分確認されている。

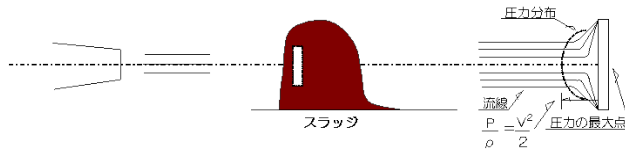
項目	仕様
高さ (mm)	507
巾 (mm)	230 (本体)
ノズル口径 (mm)	50・65・75・85・100
吐出量 (m <sup>3</sup> /Hr)	1015 (at 75φ 0.59Mpa)
回転数 (回/Hr)	1回/2Hr (任意設定可能)
重量 (kg)	100
材質	SUS 316

(表-1)

(5)ジェット噴流効果 ジェットとは、高速の流体の流れである。ジェット噴流には多くの物理的、力学的効果があるが、スラッジ除去システムには次の効果が役立っていると考えられる。

- ・ジェット噴流打壊効果
- ・ジェットの攪拌効果

①**ジェット噴流打壊効果** 流体が壁面に対し直角に衝突するときの力は次の式で求められる。



$$F = \rho Q V m$$

$F$  : スラッジに作用する力 (Mpa)  
 $\rho$  : 流体密度  $\frac{\text{Mpa} \cdot \text{sec}^2}{\text{m}^2}$

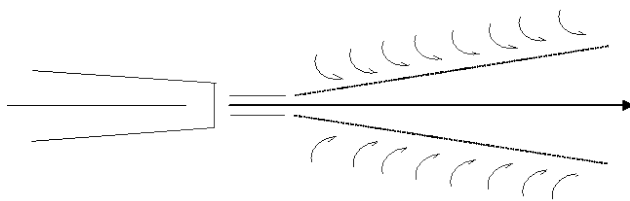
$Q$  : 流量 (m<sup>3</sup>/sec)  
 $Vm$  : 流速 (平均) (m/sec)  
 流速 (平均) は次のようになる。

$$Vm = \sqrt{\frac{P}{2\rho}}$$

$P$  : 噴流の圧力 (Mpa)

つまりスラッジに作用する力は上式より噴射流量(Q)を大きくし、噴射圧力(P)を高くすれば大きくなり、ジェットによる噴射打壊効果は増大する。

②**ジェット攪拌効果** ジェット流が静止あるいは、より低速の流体に噴射されるなど、高速噴射が低速流体に隣接するときは剪断応力が発生し運動量の交換がおこなわれるとともに低速流体の一部がジェットの主流に加わる“流れの同伴”が生じる。



ジェット噴流の攪拌効果は流れの同伴作用による。

Folsum-Ferusson の実験によるとノズルから噴出される水のジェットは、同じ静止状態の水中でまわりの水をほぼ次式で示される量同伴するとしている。

$$Q_e = \left\{ 0.203 \left[ \frac{X}{d_o} - 1 \right] \right\} Q$$

do : ノズルの口径(cm)

X : オリフィスから速度が測られる断面までの距離(cm)

Qe : 流れの軸長距離 X の垂直断面に同伴される液の容積速度または、質量速度  
(m<sup>3</sup>/sec) (Mpa/sec)

Q : ノズルの出口での流れの容積速度又は、質量速度 (m<sup>3</sup>/sec) (Mpa/sec)

例えば、ノズルの内径 do の 50 倍の位置 X=50do まで流れを同伴するときジェットに混合される水量は 10. 2Q となる。

(注 1) 引用文献 Folsom, R. G. Fergsson, C. K. :Trans. ASME, 71, 73 (1949)

ジェットの攪拌能力は、同伴流量であり、噴射流量 Q を多くすれば攪拌効果が増えることになる。

石油精製便覧によると“ジェットミキサーによる”液体混合時間は次式により求めている。

$$T=0.065 D^2 / \sqrt{QH^{1/2}}$$

T : 混合時間(Hr)

D : タンク直径(m)

Q : 流量(m<sup>3</sup>/Hr)

H : 実際にジェットに係るヘッド(m)

#### (6)ロータリージェットミキサーの特徴

- ①プロペラ型ミキサーで除去困難な場所のスラッジもノズル回転により除去可能である。
- ②プロペラ型ミキサーに比べ、スラッジ除去が短時間でできるので運転コストが安い。
- ③タンク内の攪拌効果はプロペラ型ミキサーとほぼ同等である。

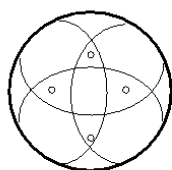
- ④スラッジ除去に充分効果があるのでタンク開放点検時の清掃工事の費用、期間を軽減できる。
- ⑤騒音、振動が少ない。
- ⑥プロペラ型に比べて、保全作業が少ない。
- ⑦軸封部分が無いので漏油の心配がなく安全である。
- ⑧動力(電気)設備が不要。(使用方法による。)
- ⑨原油タンク設備に付帯する転送配管、ポンプを利用できる。
- ⑩タンク外部に回転部分がなく運転時の巡回点検が少なくて済み、運転作業が軽減できる。

(7)システムの設計 ロータリージェットミキサーシステムで最も重要なことは本体の据付位置である。周知のとおり、タンク内部には、ルーフドレン管をはじめ種々の付属品が内臓されている。マシンのジェット噴出能力にも限界がありジェット噴流を有効に活用するため、目的やタンクの構造に応じた据付位置や台数を設置する必要がある。このため、ジェットミキサーシステムの設計では、タンクの構造を立体的に分析しジェット噴流の方向、流速を充分考慮して行っている。

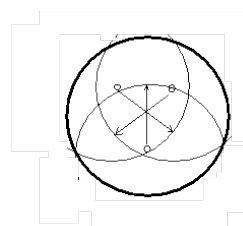
ジェットミキサーの据付台数、位置はタンクの構造のみならず、付帯設備からも影響をうける。すなわち、転送ポンプの能力、転送配管の口径等により、ジェット噴流の能力が変化するためである。

据付位置はタンクの中心付近及び側板近辺に取付ける方法もあるが、側板近辺に据付けた場合にジェット噴流の反力が側板に作用し、騒音、振動が発生することもあるので、設置位置の決定には充分注意する必要がある。

#### ロータリー式ジェットミキサー配置例



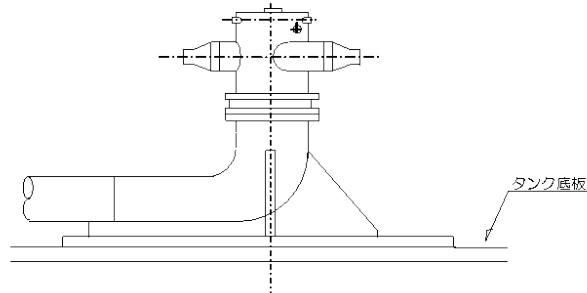
RJM 4台設置の場合



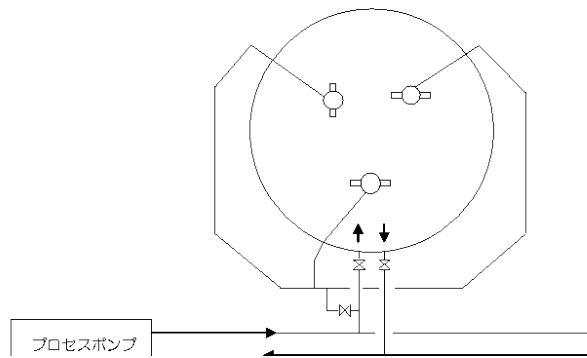
RJM 3台設置の場合

(図-5)

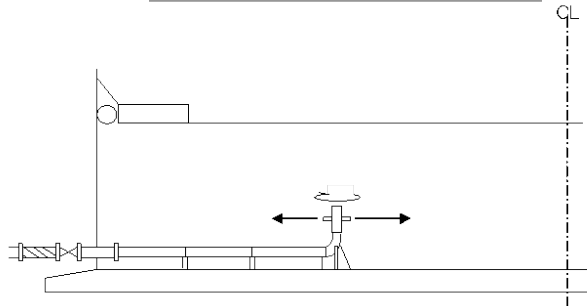
ロータリー式ジェットミキサー取付例（１）



ロータリー式ジェットミキサー取付例（２）



ロータリー式ジェットミキサー取付例（３）



#### 4. 運転

本システムの運転はタンク内のスラッジ堆積状況を調査して運転を行う。タンク間の原油転送時に油受入ノズルからではなく、本システムを通して受入れを行えば、転送受入と同時に、スラッジの堆積防止もでき一挙両得の効果がある。

噴出ノズルの先端は常に開放状態であるので、少なくともノズル取付高さまではスラッジの堆積が進んだ時にはノズルの閉塞を防止するためにスラッジ除去運転が必要である。またマシンの回転部分は固着等トラブルのないように、材質を選定しているが、より良好な状態で運転できるよう定期的に保守運転することは大切である。

## 5.まとめ

以上スラッジ除去に有効なローリージェットミキサーシステムを説明したが、当システムは、国内の実例は少なく、技術的にも確立されていない点も多くあったが、今回、弊社が日本最大級の原油タンク 160,000KL 2基を使用して実用化実験によりシステムの有効性を確認することができ、これをもとに130,000KLの原油タンクに4基のロータリージェットミキサーを恒久設置し、その性能が確認されたので当システムのPRを兼ねてここに報告発表する。

## II. ロータリージェットミキサーシステム(RJM)実証試験

原油タンクのスラッジ堆積防止対策システム開発に当社は前向きに取り組み、ジェットミキサーシステムのシュミレーション試験をはじめとして多くの開発試験を実施している。タンク内に常設したロータリージェットミキサーによりジェット噴流によるスラッジ溶解及び除去が可能と成ります。検証結果では、運転開始前にはタンク内部の各所に約 2,000m<sup>3</sup>のスラッジが堆積していたが、RJM×4台で延べ 44 時間の運転で堆積スラッジは、貯蔵原油中に混合消散した。また、他のタンクでは RJM×3台を延べ 36 時間運転で 1,700m<sup>3</sup>堆積のスラッジを消散することができ、実証実験は大成功であった。

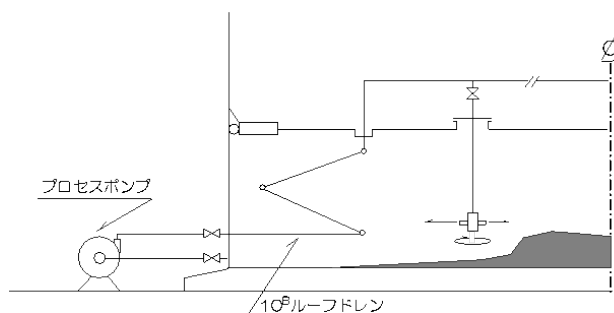
### 1.実証試験の概要

No.	項目	タンクNo	TK-A	TK-B
1	タンク型式		F.R.T	F.R.T
2	容量 (KL)		160,000	160,000
3	内容物		原油	原油
	比重		0.864	0.864
	粘度		14.8 CST	14.8 CST
4	寸法 (mm)		φ97,000×H23,490	φ97,000×H23,490
5	加熱設備		無	無
6	ミキサー		4台(フロベラ型)	4台(フロベラ型)
7	開放実績		無	無
8	製作メーカー			
9	製作年月			

(1)試験方法 タンク浮屋根のマンホールを利用してジェットを4台設置し、原油転送ポンプとプロセス配管を利用してジェット噴出油を除去するシステムとし、スラッジ溶解状況を把握確認した。



試験状況図



(2) ロータリージェットミキサー

- ・ノズル口径 7.5mm
- ・吐出流量 1,200l/Hr (MAX)
- ・吐出圧力 0.6Mpa (MAX)
- ・ノズル角度 3° 下向 (水平に対して)
- ・回転数 2Hr/1回転 2台
- 1Hr/1回転 1台
- 手 動 1台
- 計 4台

(3) ロータリージェットミキサーの設置状況

No	タンク名	液面高 (mm)	スラッジ量 (m <sup>3</sup> )	RJM 設置台数			RJM 吐出圧力 (MPa)	RJM ノズル角度(°)	油とスラッジの Vol比
				手動	1回転/1Hr	1回転/2Hr			
1	TK-A	3,000	1,907	1	1	2	1,800	3	10:1
2	TK-B ケース(I)	4,975	7,516	0	1	2	3,000	3	4:1
	TK-B ケース(II)	3,975		0	1	2	2,000		

(注) ケース(II)はケース(I)実験後に実施した。

(4) 試験結果 実験はジェットミキサーの連続運転で行い、延べ約 44 時間でスラッジの溶解消散を確認した。

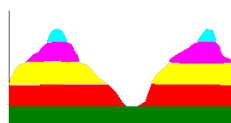
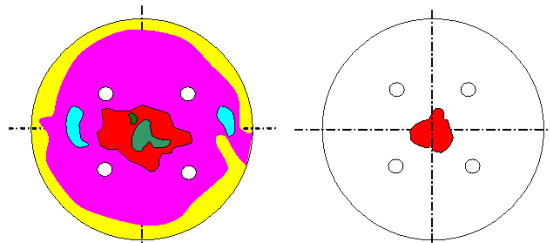
スラッジ打壊、混合溶解による除去効果

タンク名	RJM台数 (台)	運転時間 (Hr)	総原油油濁量 (m <sup>3</sup> )	実験前スラッジ量 (m <sup>3</sup> )	実験後スラッジ量 (m <sup>3</sup> )
TK-A	4	44	29,960	1,907	0
TK-B	3	36	23,700	7,516	5,853

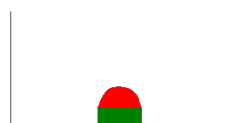
\*TK-Aでは1,907m<sup>3</sup>のスラッジを溶解消散した。  
\*TK-Bでは1,663m<sup>3</sup>のスラッジを溶解消散した。

# TK-A スラッジ堆積状況変化図(試験データによる)

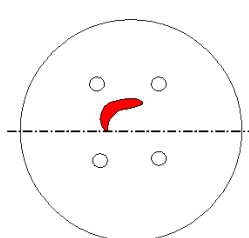
スラッジ高さ (mm) 0 0~100 100~200 200~285 286~385 385 以上



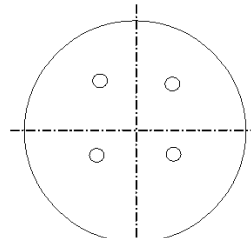
運転開始前



運転開始17時間後



運転開始39時間後



運転開始44時間後