

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「油圧動力伝達システムに使用する油中気泡除去技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 タマティーエルオー株式会社

目 次

第 1 章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制	3
1-3	成果概要	7
1-4	当該研究開発の連絡窓口	7
第 2 章	研究開発の実施内容・成果	8
2-1	油圧動力伝達システムの動向と課題	8
2-2	油中気泡と従来技術	10
2-3	油中気泡の除去技術	12
2-4	研究開発の実施内容と成果	13
2-4-1	画像処理による流れ解析と 数値解析による気泡除去装置の高性能化	13
2-4-2	気泡量の実時間測定と装置の気泡除去性能の評価	15
2-4-3	気泡除去による油タンクの小型化	15
2-4-4	気泡除去による冷却装置の小型化	16
2-4-5	センサ・フュージョンによるスマートモニタの開発	16
第 3 章	新技術の用途と事業化・製品化	17
第 4 章	全体総括	19

第1章 研究開発の概要

本研究開発では、無動力の油中気泡除去技術を用いて、建設機械の油圧による動力伝達システムを高強度化、長寿命化する。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究開発では、中小企業の特定制品づくり基盤技術の高度化に関する指針のうち、(八)動力伝達に係る技術において、建設機械に用いられる動力伝達技術に関する川下製造業者等の抱える課題のうち、ア. 強度・耐久性の向上、ウ. 低騒音化、オ. 低コスト化に対して、動力伝達技術の達成すべき高度化目標として、高強度化又は長寿命化を目指す。

(1) 研究開発の背景

ア. 強度・耐久性の向上

建設機械において動力伝達のメインとなる油圧駆動システムでは、高圧化により高強度化（パワーアップ、出力約2倍）を図りながら、小形化（油タンク容量1/2）と耐久性向上（油のライフタイムを2倍）という、相反する要求を同時に解決する事が求められている。動力伝達用の作動油中の気泡を積極的に効率よく除去することで、強度と耐久性が向上し、結果としてCO₂削減が大きく図られる。

ウ. 低騒音化

建設機械の動力伝達を行う油圧駆動システムにおいては、高圧化によるパワーアップは、キャビテーションの発生による騒音の増加を伴う。欧州などの騒音に対する規制強化や作業環境、作業者に与える影響の軽減のため、低騒音化（15dB削減）が求められている。

オ. 低コスト化

建設機械では、初期導入コスト（建機本体価格）低減は当然ながら、それ以上に運転コスト・メンテナンスコストの負担が大きい。さらに、地球環境保護の観点からも、これまで多量に消費されてきた動力伝達用の油、潤滑油の省資源化と寿命延長が強く求められている。したがって、油タンクユニットを小形化（油タンク容量1/2）し、省資源とCO₂削減（使用油量1/2）さらに、油自体の寿命延長（ライフタイム2倍）が求められている。

（２） 研究目的および目標

建設機械の動力伝達を行う油圧駆動システムにおいて、高強度化（パワーアップ）および小形化のためには、システムの高圧化（21MPa→45MPa）が有効である。通常の油圧システムの油には、数%～10%の気泡が存在しており、油の見かけの剛性が低下し、大幅なエネルギー伝達ロスが発生する。本研究開発では、旋回流により気泡を集積し、油中から効率的に放出する気泡除去技術を高度化し、油中の気泡混入率を1桁改善して1%以下とし、エネルギー伝達ロスを軽減する。

この気泡混入率の低減により、高圧化したことで顕著になる、油タンクの油面からの空気の巻き込みの増加や溶存空気の析出（キャビテーション）による騒音を低減できる。現状より建設機械システム全体で5db低減することが目標である。

また、動力伝達を行う油の寿命を左右する主原因は、油中に存在する空気による酸化と熱的な劣化である。したがって、タンク中の油中気泡を効率よく除去することにより酸化と熱劣化を防止し、これまで両立が難しかった、動力伝達を行う油圧駆動システムの高強度化（パワーアップ）と伝達媒体である油の長寿命化を両立することを可能にする。動力伝達用の油のライフタイムを2倍に延長する。

従来から行われている気泡除去方法は、タンク内で気泡を浮上させて自然放気除去する方法であり、そのため、必要以上に大きなタンク容量を必要としている。自然放気の必要をなくし、油タンクの容量を1/2まで小型化する。

さらに、気泡除去装置を内蔵する油タンクユニットに専用のセンサ計測系や制御系も併せてシステム化することにより、建機車載モニタとの通信機能を有する2/3まで小形化したスマート&クリーン油タンクユニットを開発する。

以上の本研究開発における技術的目標値を表1-1にまとめて示す。

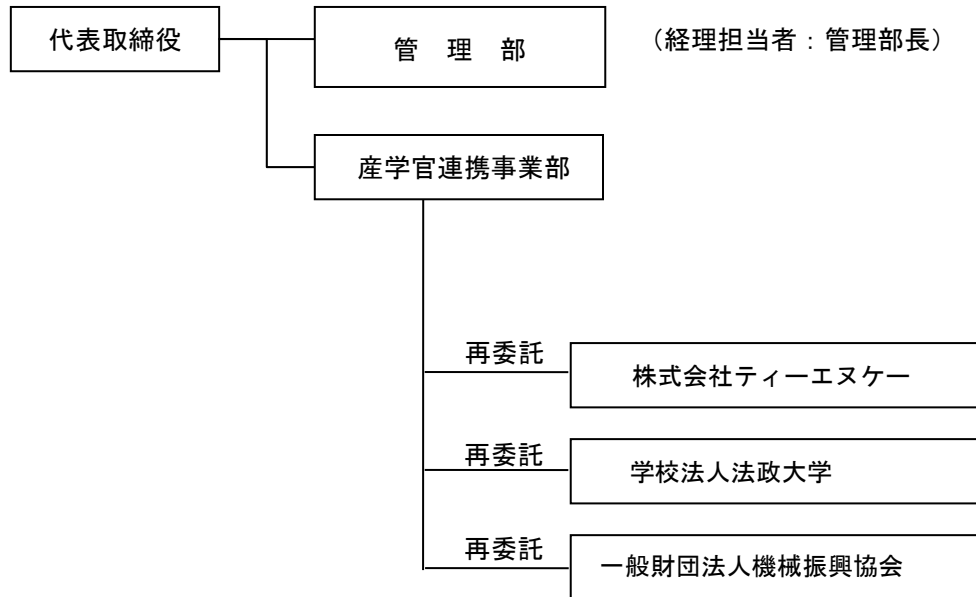
表 1-1 技術的目標値

項 目	目 標 値
気泡混入率	数%～10% → 1%以下
高圧化対応	現在：21MPa → 45MPa
騒音低減	システム全体で5db低減
油の寿命	現状の2倍以上
油タンク容量	現状の1/2に低減
システム	2/3まで小形化

1-2 研究体制

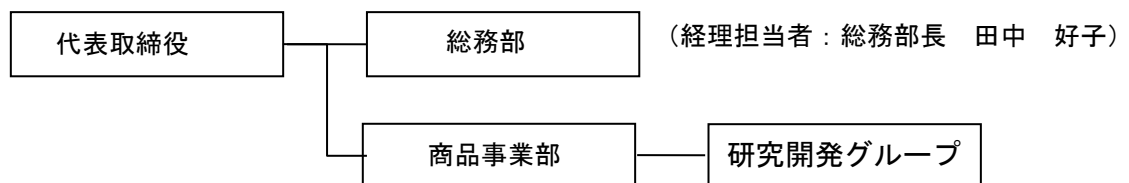
(1) 事業管理機関

[タマティーエルオー株式会社] (業務管理者：産学官事業部長)

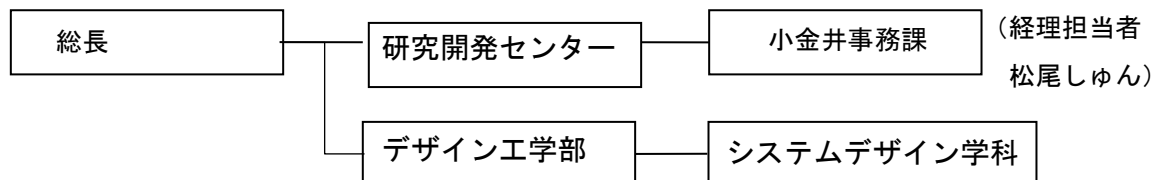


(2) 再委託先

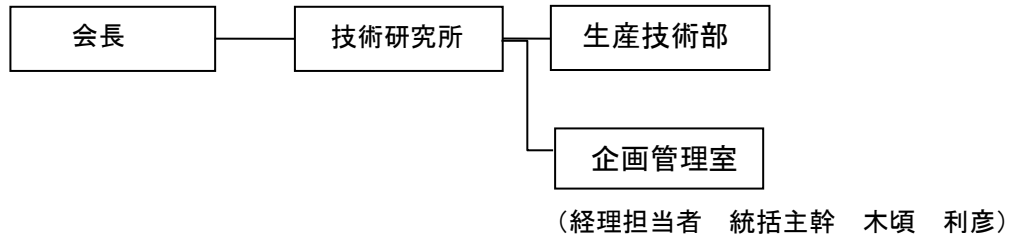
[株式会社ティーエヌケー] (事業管理者：社長 田中 信之)



[学校法人法政大学] (業務管理者：デザイン工学部長 教授 田中 豊)



[一般財団法人機械振興協会]（業務管理者：技術研究所 所長 足立 芳寛 ）



（３）管理員及び研究員

【事業管理機関】タマティエルオー株式会社

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
三宅 隆	調査専門員	③

② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
鈴木 隆司	研究専門員	①②

【再委託先】

研究員

株式会社ティーエヌケー

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
三科 一男	商品事業部 技術グループ 課長	①②
今田 直典	商品事業部 技術グループ GL	①②
川村 仁人	商品事業部 技術グループ	①②
村上 聡	商品事業部 技術グループ	①②

研究員

学校法人法政大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
田中 豊	デザイン工学部長・教授	①②
坂間 清子	研究補助員	①②
田中 貴之	研究補助員	①
山田 新	研究補助員	②

研究員

一般財団法人機械振興協会

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
五嶋 裕之	技術研究所 生産技術部 部長代理	①

（４）経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理機関）

タマティーエルオー株式会社

（経理担当者）	管理部長	吉野 正喜
（業務管理者）	産学官連携事業部長	山県 通昭

（再委託先）

株式会社ティーエヌケー

（経理担当者）	総務部 総務部長	田中 好子
（業務管理者）	代表取締役 社長	田中 信之

学校法人法政大学

（経理担当者）	開発研究センター 小金井事務課	松尾しゅん
（業務管理者）	デザイン工学部長 教授	田中 豊

一般財団法人機械振興協会

（経理担当者）	技術研究所 企画管理室	統括主幹 木頃 利彦
（業務管理者）	技術研究所 所 長	足立 芳寛

(5) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
田中 豊	法政大学 デザイン工学部長 教授	PL
田中 信之	(株) ティーエヌケー 社長	SL
五嶋 裕之	(一財) 機械振興協会 技術研究所 部長代理	
三科 一男	(株) ティーエヌケー 商品事業部 技術グループ 課長	
井深 丹	タマティーエルオー (株) 社長	
鈴木 隆司	タマティーエルオー (株) 調査専門員	
三宅 隆司	タマティーエルオー (株) 調査専門員	
布谷 貞夫	(株) 小松製作所 開発本部	アドバイザー
福岡 新五郎	(地独) 東京都立産業技術研究センター	アドバイザー
風間 俊治	室蘭工業大学大学院 もの創造系領域 教授	アドバイザー
小別所 匡寛	出光興産 (株) 営業研究所	アドバイザー
川崎 宏	出光興産 (株) 営業研究所	アドバイザー

※ PL、SLは備考欄に記載

1-3 成果概要

1) 画像処理による流れ解析と数値解析による気泡除去装置の高性能化

- ①可視化実験およびシミュレーションにより、気泡除去装置の高性能化の見通しが付いた。
- ②気泡混入率 目視でも気泡量の差が分かるシステムが出来上がった。
1%以下→5分間気泡除去後0.2%
- ③高圧化対応 45MPa→実験装置にて問題なく稼働することを確認済した。
- ④騒音低減 気泡除去による騒音の低減は期待通りの効果は得られなかった。
- ⑤油中の気泡量が低減しているため、油のライフタイムは確実に延長していると考えられる。

2) 気泡除去装置内部の圧力測定による性能評価

装置出入口の圧力測定結果をもとに、流れの数値解析を行い、装置内部の圧力分布を予想することで、装置の高性能化を検討した。

3) 油タンク容量及び冷却装置の小型化

システムの構造も考慮し、タンク容量1/2に見通しが付いた。気泡除去装置が温度上昇の抑制に寄与することが確認できた。また、高圧実験装置によりキャビテーション壊食実験、高圧位置決め実験などにより高圧化での装置に対する影響など把握できシステムサイズ2/3化の指針を得ることができた。

4) 油の溶解空気量の定量化と測定方法の確立

流入部と流出部および放気口部に取り付けた流量計の測定値の比較により気泡量を実時間測定できることを確認した。

5) センサ・フュージョンによるスマートモニタの開発

高圧位置決め実験、キャビテーション壊食実験などを通して気泡量と油圧機器類の性能への影響、機器劣化の関係について、実験を通してその関係を検討した。これ等のデータを計器類から無線でPCに取り込むなどし、スマートモニタの実用化に向けた研究も進めた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

〒205-0014 東京都羽村市羽東1-14-11

西武信用金庫 羽村ビル2階

タマティーエルオー株式会社

産学官連携事業部 調査専門員 三宅 隆

Tel: 042-570-7240 Fax: 042-570-7241

E-mail: miyake@tama-tlo.com

第2章 研究開発の実施内容と成果

2-1 油圧動力伝達システムの動向と課題

油圧動力伝達システムは、容積式油圧ポンプにより、囲まれた空間内の油を、幾何学的に、その容積を減じることによって、油を押しつけて高圧の油圧パワーとして吐出させることにより動力を生成し、配管系を通して伝達するシステムである。従って、動力の伝達媒体は「油」である。

一方、油圧ポンプで生成され伝達された油圧動力は、「密閉した容器内の流体に加えられた圧力は、他の部分にも加えられた分だけ同じ大きさで伝わる」というパスカルの原理を用いて、油圧シリンダのようなアクチュエータを用いて外部への機械的な仕事として取り出される。油のような液体の場合、容積を減じることによる自身の体積変化はほとんど無視でき、すべて圧力の変化として伝わるため、剛性が極めて高く、高出力密度のアクチュエータとして利用される。これが油圧アクチュエータの最大の特長である。

このような油圧動力伝達システムの特長は以下の項目でまとめられる。

- 大きな仕事・出力
- 大きな出力密度
- 高精度、高応答
- 直線運動の実現
- 作動油と油圧源

こうした特長を活かし、建設機械や航空機、自動車、各種産業機械で幅広く利用されている。

油圧の仕事（動力）は、圧力と流量の積で定義される。また油圧シリンダなどの油圧による推力は、圧力と受圧面積の積で表される。したがって、油圧を用いて同じ仕事や推力を得るには、より高圧化が進めば流量や受圧面積は小さくて済み、小形化へ向かうことになる。

特に最近の建設機械の分野では、さらなる高出力密度を実現するため、油圧ポンプで生成する圧力を高圧化する傾向にある。図2-1は Machinery Lubrication Magazine の2008年1号より引用した油圧ショベルの動作圧力の変遷と将来動向予測である。

この図によれば、1990年よりしばらく35 MPaで推移していたポンプ圧力は、ここ数年、高圧下に向かう傾向にあり、油圧ショベルの動作圧力は従来の35 MPaから45 MPaへと高圧化が一層進展すると予測されている。専門家は油圧ショベルの高圧化傾向は続き、40 MPaが主流となる日も遠くないと指摘しており、一部の建設機械では45 MPaを見据えた技術革新が行われている。また表2-1は建設機械の性能の変遷である。高圧化によりエンジン馬力は大きくなるが、作動油全体の使用量はそれほど増加せず、圧力

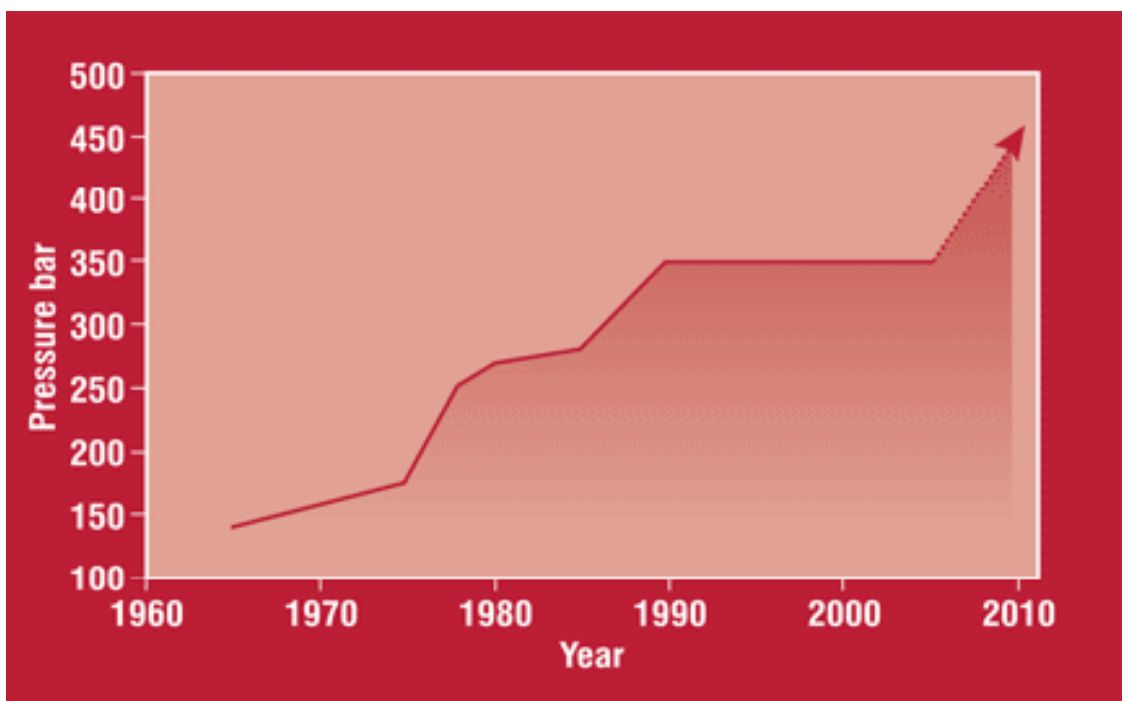


図 2－1 油圧ショベルの動作圧力の変遷

表 2－1 建設機械の性能の変遷

年代	エンジン馬力 [PS]	作動油量 [L]	圧力 [kgf/cm ³]	交換インターバル [Hrs]
1965	50	160	140	1500
1968	85	260	175	1500
1973	93	280	175	1500
1979	105	280	250	1500
1983	115	280	265	1500
1986	125	220	285	2000
1990	135	200	350	2500
1996	135	200	350	4000
2000	150	200	350	4000

松山雄一：油圧作動油からのランニングコスト低減、出光トライボレビューNo. 27

は高圧化しているが、作動油の油量は減少し、交換時間は延びる傾向にある。すなわち、低作動油の交換時間は増大し、油の長寿命化と使用サイクルタイムは増加傾向にある。

図 2－2 は動作圧力が損失に与える定性的な影響の割合を示したものである。動作圧力が高くなると、機械的摩擦損失や流動損失などの機械的損失に比べ、油の圧縮性による損失や内部漏れ損失などの油の特性に起因する損失の影響が大きくなること

指摘されている。

このように、高圧化には、小形化というプラスの面と共に、油の特性に起因する損失の増大というマイナスの面もある。こうしたマイナス面を克服するには、油圧機器単体の高効率化と共に、作動油の粘度や高強度化、熱的損失の低減などへの取り組みが欠かせない。

一方、建設機械の稼働環境はますます過酷となり、資源の高騰や省エネルギー、環境負荷への配慮から、システムの小形化と使用する油の削減は至上命題となっており、アクチュエータに使用する油の量やタンク容量は制約されることになる。また騒音や排気ガスのさらなる低減も求められている。

また油圧機器やシステムの状態監視や故障診断機能は、今後の高品位油圧システムに欠かせない。例えば、油の粘度、温度、圧力、流量、汚染度、含水量、含空気量などの物理量を常時、センサでモニタリングしながら、油の性状を推定し、システムの故障診断や状態監視に利用する機能をもつ必要がある。遠隔地の建設機械の運転状況を常に監視するシステム事例はすでに商品化されている。油圧機器やシステムを、常に良好に使用できる状態に保ち、寿命を延長し、故障を回避するためには、油の性状管理は欠かせない技術であり、維持費の削減にもつながる。

以上、高圧化による課題をまとめると以下の項目となる。

- 油圧装置の信頼性
- 材料強度の問題（耐圧やシール）
- 油の圧縮性による動力損失・強度低下
- 内部漏れによる動力損失
- 潤滑表面にかかる負荷の増大
- 熱的負荷の増大と油の劣化
- 騒音の抑制と制御
- 油の選択と性状監視、汚染制御

2-2 油中気泡と従来技術

通常の油圧動力伝達システムの油には、数%~10%程度の気泡（空気）が存在しており、見かけ上の油の剛性が低下し、動力伝達ロスが発生する。図2-3は油中に気泡が有るときと無いときの概念図である。油中に気泡が存在すると、いわゆるスポンジ効果により、伝達された動力が気泡の圧縮による体積変化として損失になる。

この油中に存在する空気が、ポンプ等で瞬時に加圧圧縮されると急激な温度上昇のため、油の熱的劣化が促進され、油の寿命が低下する。また油中の気泡の空気層による断熱効果で、油の熱冷却効果が阻害され、油やシステムの温度上昇が促進される。油中気泡は、油の交換やシステムの振動に伴う巻き込み、ポンプ吸込み側か

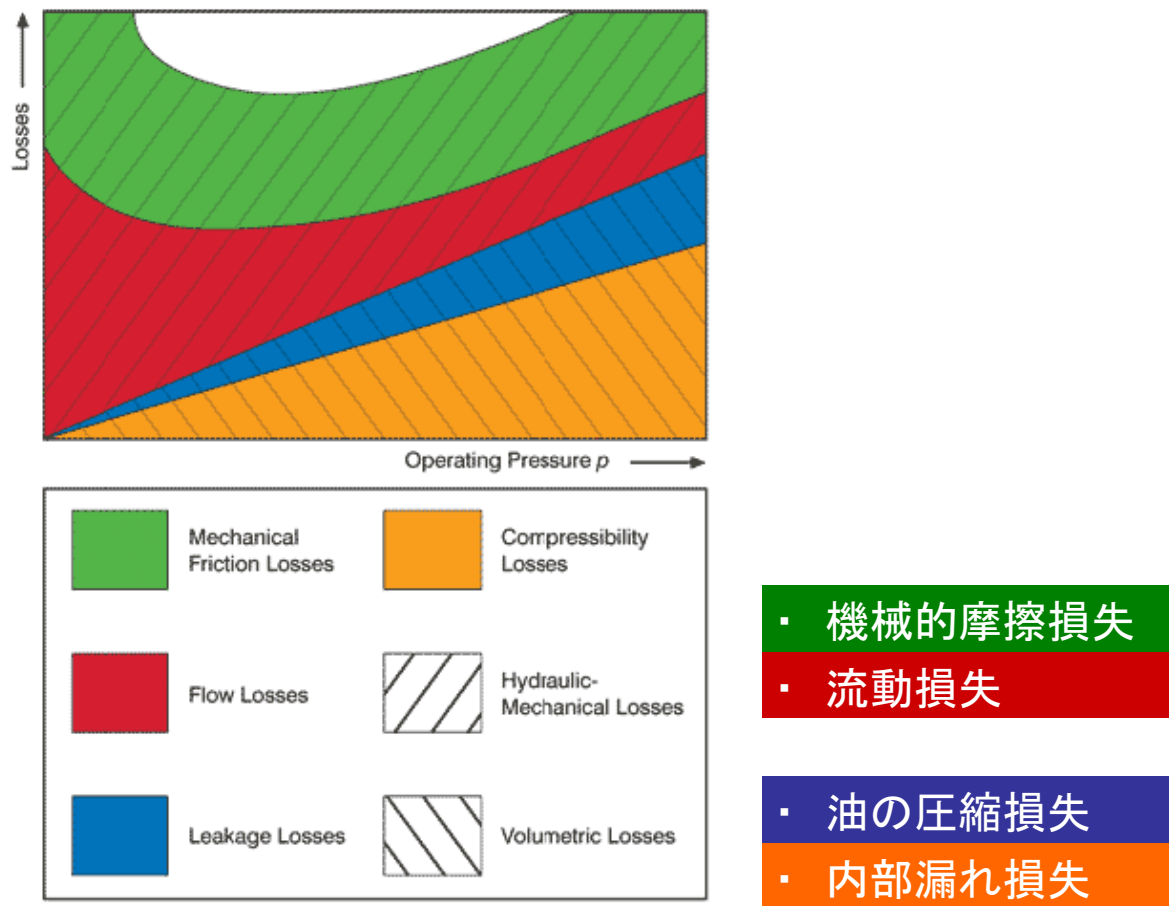


図 2 - 2 油圧動力伝達システムの損失

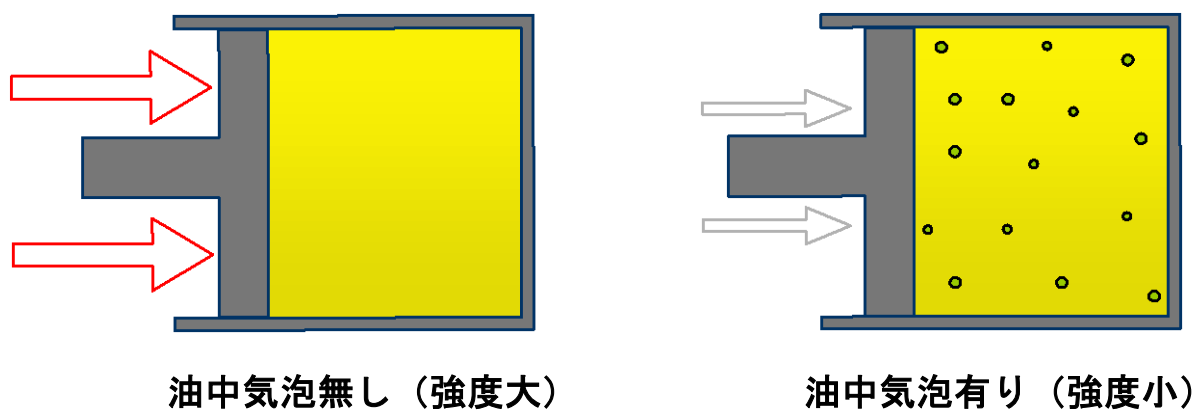


図 2 - 3 油中気泡のスポンジ効果による強度低下の概念

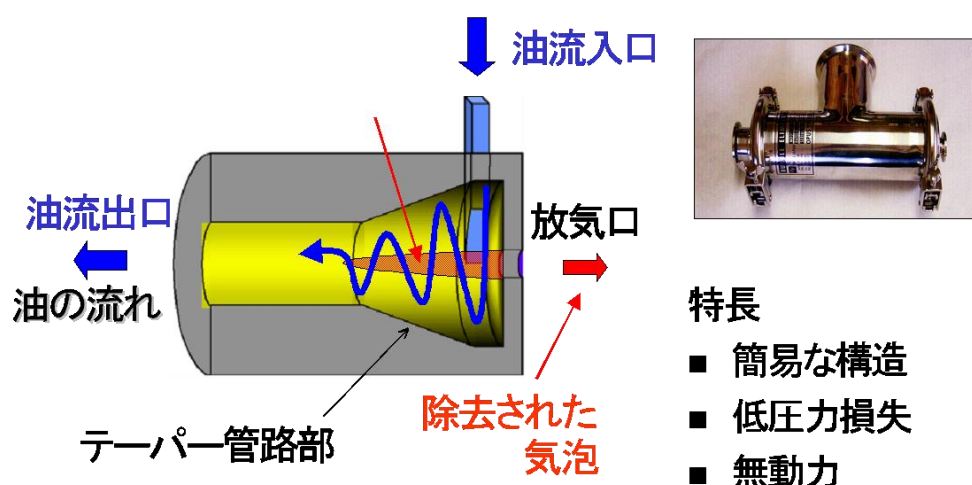
らの吸引等により生じる。また絞り弁などで急激に圧力が低下することにもない、油中に溶解している空気が析出する、キャビテーションという現象によっても生じる。高圧化すればするほど、この圧力差は大きく、キャビテーションは起こりやすくなる。

キャビテーションとは、流れの現象により局部的に圧力が低下し、臨界圧力よりも低くなったときに蒸発を伴って気泡核が可視化できる状態まで成長する現象である。キャビテーションが発生すると、振動、騒音、機器の性能劣化、油温の上昇、油の劣化が起こる。キャビテーションによって発生した気泡は圧力の高い場に来た時や、機器壁面にぶつかった時に崩壊する。気泡の崩壊は、振動、騒音、衝撃を伴い、部材表面に大きな損傷を引き起こす。この現象をキャビテーション壊食と呼び、流体機械の破壊など大事故につながる重大なトラブル原因となる。油圧制御システムでは、弁の絞り部、シリンダブロックの流入部、管路曲り部などに壊食が多く見られる。

従来、キャビテーションの原因となる油中の気泡は、油タンクに戻った油が停留している時間に、自然に放気させることによって除去していた。しかし次世代建設機械のタンクの小型化とシステムの高圧化にあたり、自然放気という受動的な方法では、十分に油中気泡を除去することができない。本研究開発事業では、従来と異なる、積極的に油中気泡を除去する装置を用いたシステムの高性能化を図る。

2-3 油中気泡の除去技術

本研究開発事業で対象となる油中気泡の除去技術は下図に示す簡単な構造の「気泡除去装置」がコア技術となる。



この装置は、油の流入側から接線方向に設置してある流入口と一定傾斜を持つテーパ管路部、それに続くストレート管路により構成されている。接線方向からの油の流入により旋回流を作り出し、油より比重の小さい気泡（空気）が中心に集まることを利用している。中心に集まった気泡は、合体して気泡柱を形成し、背圧により放気管か

ら外部排出される。流れの動力のみを用いた簡易な構造で、装置自体の圧力損失も小さく抑えられる。

プロジェクトリーダーを中心とした研究開発グループでは、様々な対象（油、水、食品など）への利用を念頭に、この気泡除去装置の性能の改善と適用に取り組み、多くの実績をあげてきた。

本研究開発では、この無動力の油中気泡除去技術を用いて、建設機械の油圧による動力伝達システムを高強度化、長寿命化する。気泡除去技術の核心をなす旋回流を生成する機構を最適化することで気泡除去技術を高度化し、油圧駆動システムへの気泡混入による動力伝達ロス等を大幅に低減する。また、気泡除去装置を中心としたシステム化により、動力伝達システムの小形化、高圧・高性能化と、トータルメンテナンスコストの極小化を同時に実現する。

2－4 研究開発の実施内容と成果

2－4－1 画像処理による流れ解析と数値解析による気泡除去装置の高性能化

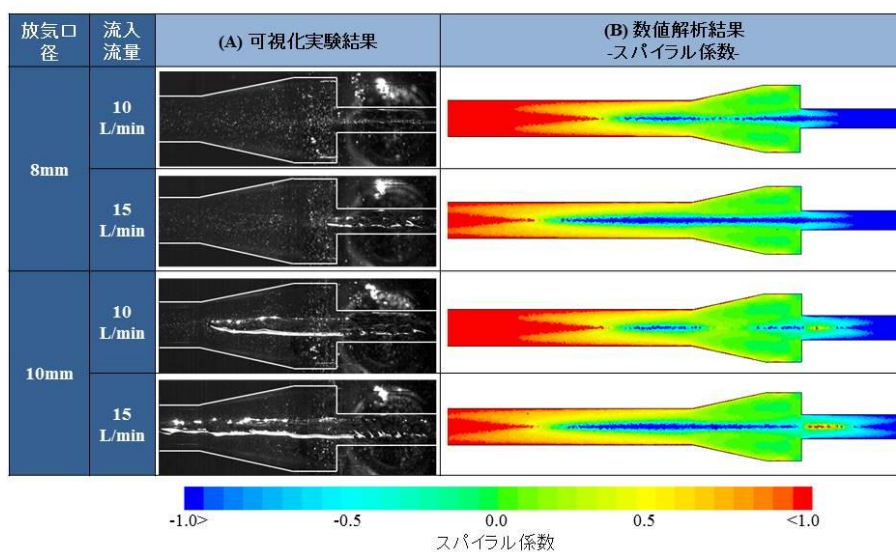
可視化実験装置に、高速流れ場（最大 50m/s の旋回流速）の高解像度画像撮影装置を設置し、気泡除去装置内やタンク内流れの特長や気泡の集合・分離・放気・除去などの様子を定性的かつ定量的に明らかにした。

効率的で性能の良い安定的な気泡除去技術を確立するために、気泡除去装置の形状パラメータを変化させて、装置内流れの数値シミュレーション解析を行なった。

実験と数値解析の比較検討を繰り返し行い、最適な形状パラメータによる装置の設計指針を得た。

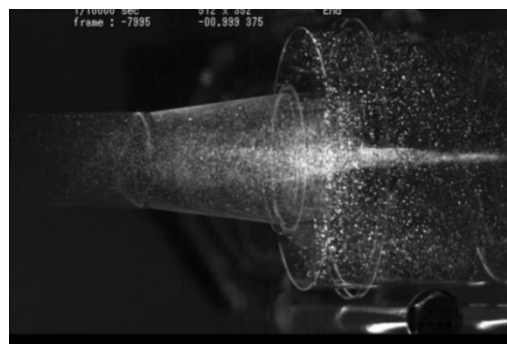
上記の2つの成果により、画像処理による流れ解析と数値解析による気泡除去装置の高性能化に関する設計指針が得られた。

流れの可視化と数値解析の比較例

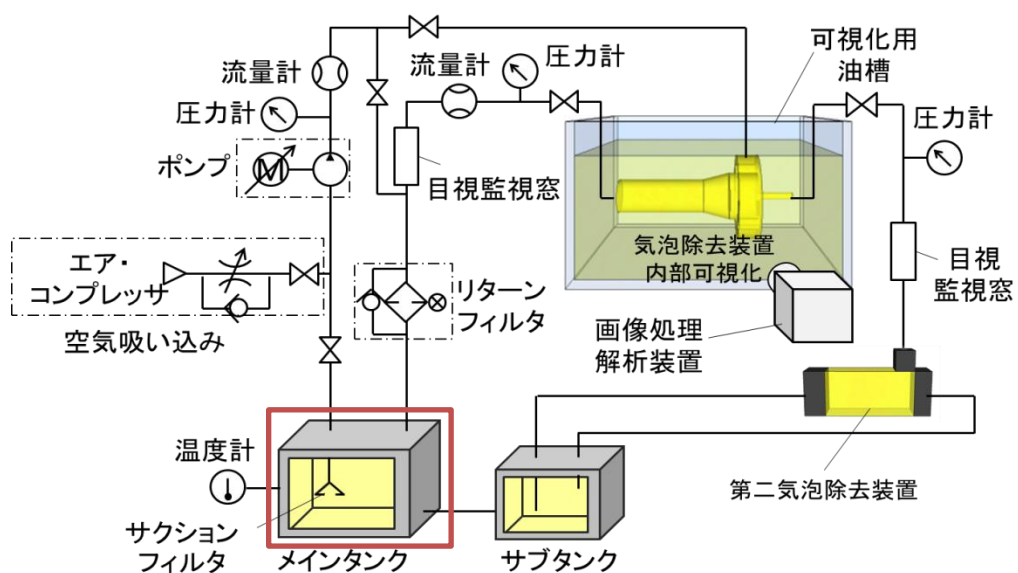




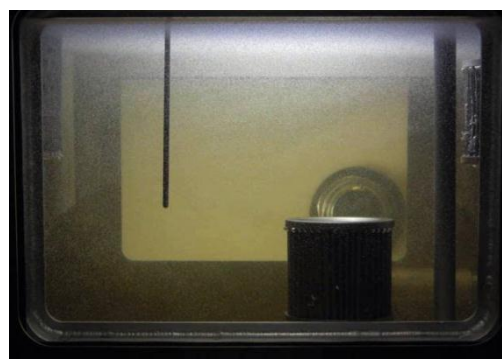
可視化実験装置



高速度撮影画像（気泡除去装置内部）



気泡除去装置あり



気泡除去装置なし

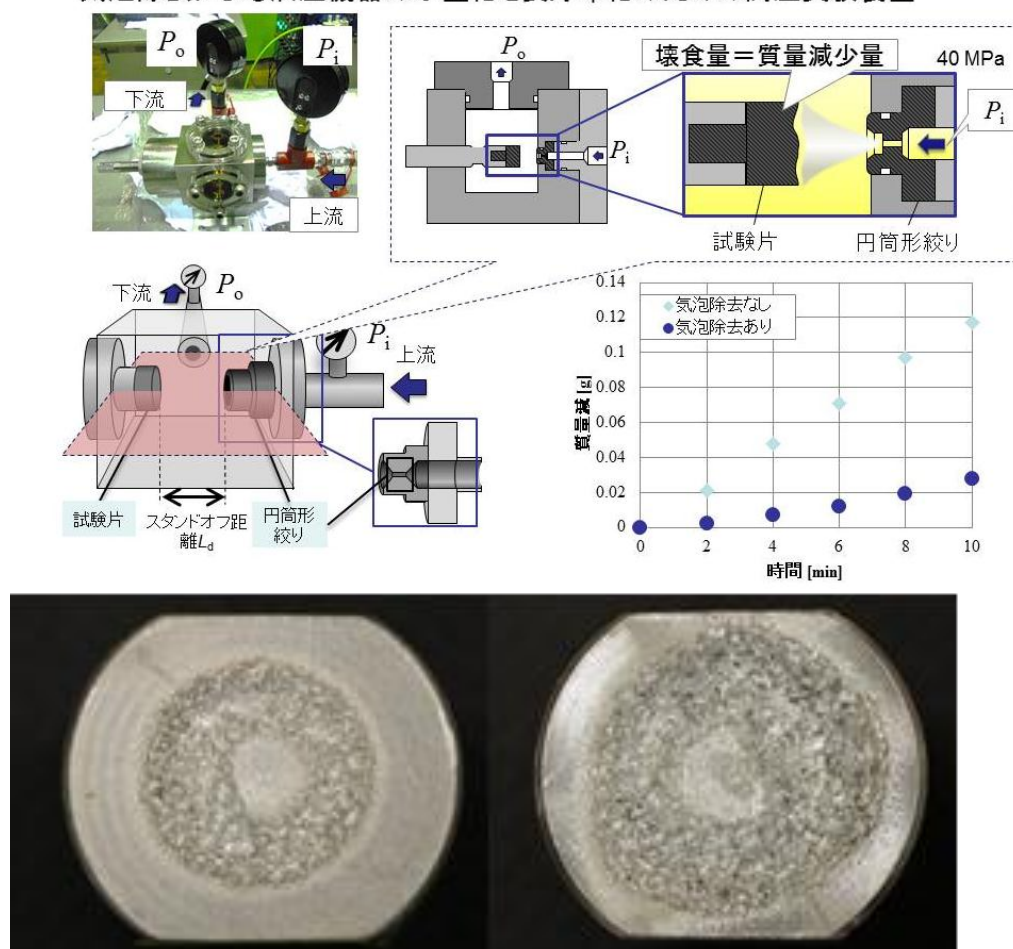
2-4-2 気泡除去装置内部の圧力測定による性能評価

可視化実験装置の流入部と流出部および放気口部に取り付けた圧力計の測定値を境界条件として、計算機による流れの数値解析を行うことで、装置内部の圧力分布を予想することができるようになった。この結果を利用することで、気泡除去装置の設計パラメータをより高精度に評価することができるようになり、高性能な気泡除去装置の実現の目途がついた。

2-4-3 油タンク容量および冷却装置の小型化

可視化実験装置において、気泡除去装置の性能の向上とタンク配置や構造の工夫により、大幅なタンク内の気泡削減効率を図れることを確認し、油タンク容量および冷却装置小型化への目途がついた。また高圧 (45MPa) キャビテーション実験や油の剛性測定実験により、油中気泡の分離除去が機器へのダメージの低減や性能向上に大きな効果があることを示した。

気泡除去による油圧機器の小型化と長寿命化のための高圧実験装置



Bubble Eliminator ON

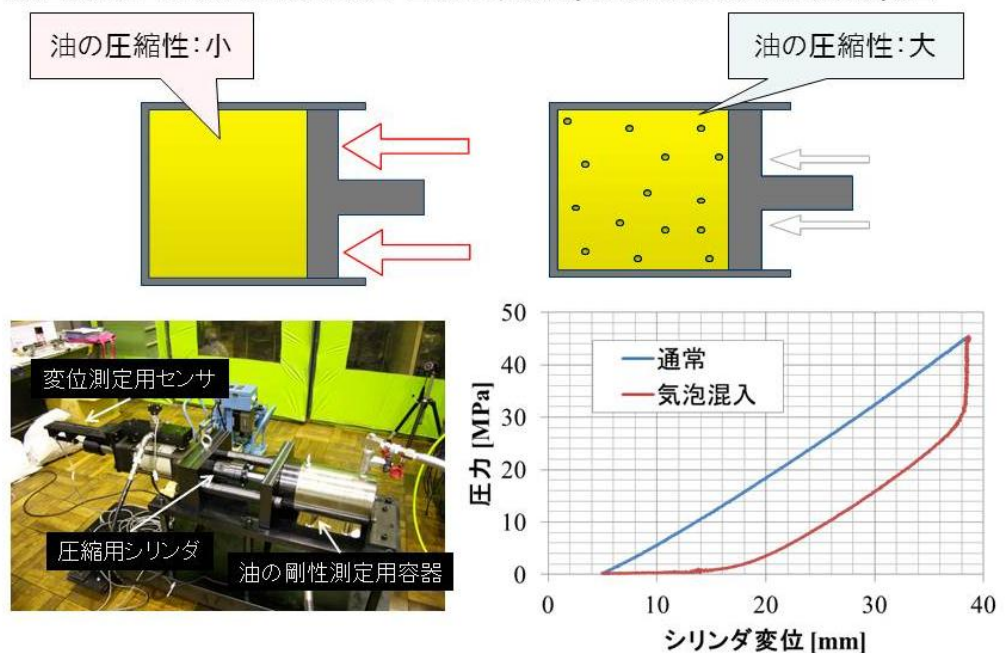
Bubble Eliminator OFF

試験片表面の壊食痕比較

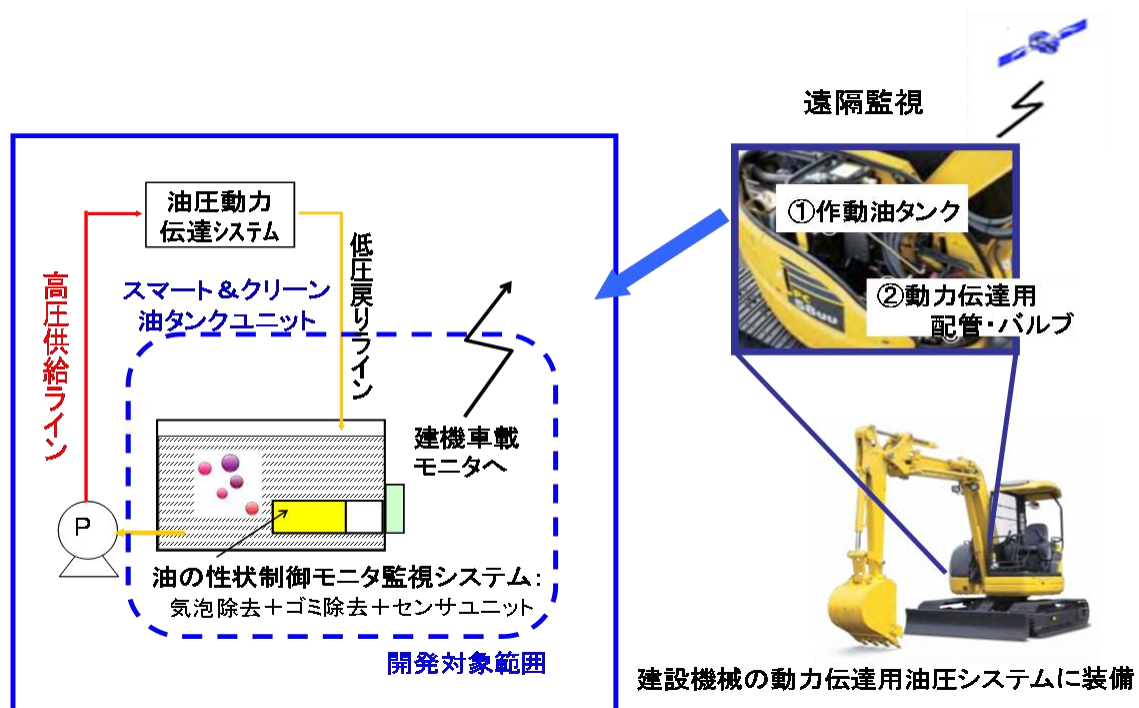
2-4-4 油の溶解空気量の定量化と測定方法の確立

流入部と流出部および放気口部に取り付けた流量計の測定値の比較により気泡量を実時間測定できることを確認した。また油の剛性測定実験装置を用いて、油中気泡を定量的に推定できることを示し、溶存酸素計によるタンク内油の酸素量計測や油のサンプリングによる実測結果などとの比較を通して、その妥当性を示した。

気泡除去による油圧機器の小型化と長寿命化のための高圧実験装置



2-4-5 センサ・フュージョンによるスマートモニタの開発複数センサから得たデータ（圧力、流量、気泡含有量、汚染度、劣化度、水分含有量など）を総合的に処理することで、認識機能を有する油の性状管理監視のためのタンク統合体形システムの実現について引き続き検討を行った。高圧位置決め実験、キャビテーション壊食実験などを通して気泡量と油圧機器類の性能への影響、機器劣化の関係について、実験を通してその関係を検討した。これらのデータを計器類から無線で PC に取り込むプロトタイプシステムを開発し、スマートモニタの実用化に向けた研究も進めた。以上により当初の研究計画の 90% を達成した。



構想イメージ（インテリジェント化）

第3章 新技術の用途と事業化・製品化

動力伝達システムに用いられる作動油中に気泡が含まれると、大幅な出力の損失や機器や油の劣化を引き起こす。本事業で技術開発・高度化された油中気泡の分離除去技術は、建設機械などの大出力作業機械に用いられる高圧油圧動力伝達システムに広く適用される技術である。また最近注目されている、風力や波力発電装置を小型化するためにも、高圧油圧動力伝達システムの駆動原理の適用が効果的である。さらに食品や印刷産業など、液体中に泡が混入して困るケースは多数存在し、液体と気体の簡易な分離技術は、こうした産業への展開も期待できる。本事業で開発された新技術は、広く液体や液圧を扱ったシステムの高品位化・高性能化に大きく寄与する。

本事業で技術開発・高度化された油中気泡の分離除去技術は、まず建設機械の高圧油圧動力伝達システムへの搭載を視野に事業化を推進する。現在、建設機械への搭載を念頭にフィールド試験用装置の試作に取り掛かっている。この装置により、必要な技術課題を検討・解決することで、今後3年間に図3-1に示すステップにて事業化・製品化の目途をつけ、3年～5年後には図3-2に示す売上を見込む。また並行して、最近注目されている、風力や波力発電装置の油圧動力伝達システムへの搭載を検討する予定である。以上を達成するために、図3-3に示す事業化実施支援体制を引き続き維持し、早期の事業化を実現する。以上のように事業化される新技術は、幅広く油圧動力伝達システムの高性能化に寄与することが期待される。

今後の取り組み

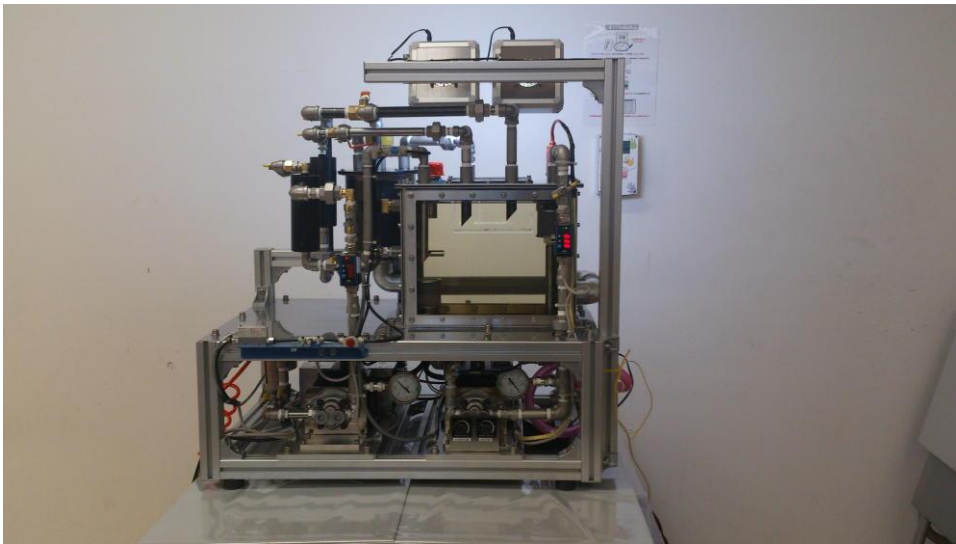
ステップ1: 建機作動油用検証装置を作成, 川下ユーザでデモ

ステップ2: 成果報告会(ワークショップ)開催

ステップ3: コマツと今後の進め方について細部を協議

ステップ4: 建設機械市場以外へのアプローチを行う

図3-1 事業化へのステップ



建機作動油用検証装置

売上見込

	3年後	4年後	5年後
売上高(千円)	25,000	65,000	150,000
システム数	50	130	300

タンクユニット単価: 500千円

図3-2 売上見込

各企業、学術機関の事業化実施支援体制

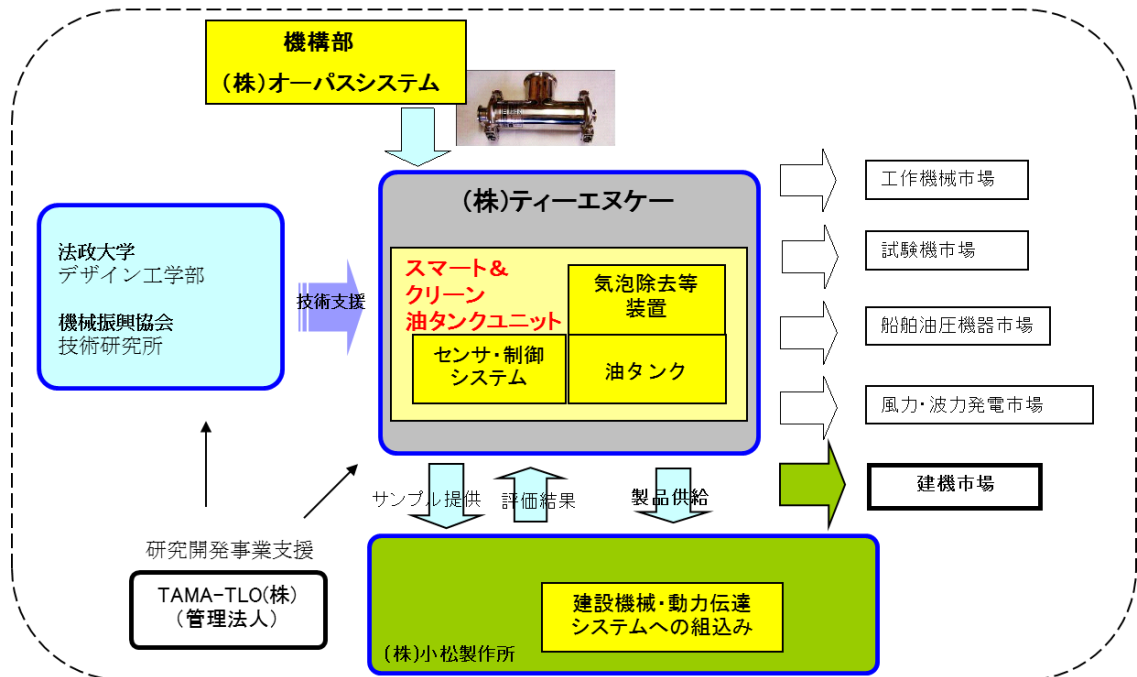


図 3-3 今後の事業化実施支援体制

第4章 全体総括

高圧下で効率の良い安定的な油中気泡の分離除去技術の確立のため、可視化実験装置と画像解析による流れ解析および流れの数値シミュレーションによる解析と性能評価、油タンクの小型化のための実験、気泡量測定実験、高圧実験装置を用いたキャビテーション実験や油剛性の測定実験などに精力的に取り組み、当初の計画どおり研究を実施し、概ね目標の90%以上を達成した。

3年間の成果概要をまとめると以下のとおりである。

- 可視化実験装置を用いて様々な条件下での、装置内や回路・タンク内の油と気泡の流れの挙動を詳細に観察した。
- 流れの画像解析により定性的かつ定量的な解析を実施し、装置やシステムの気泡分離除去技術に関する指針を得た。
- 詳細な流れの数値解析を実施し、最適な形状パラメータの探索を行うとともに、高性能な気泡除去装置の設計指針を得た。

- 可視化実験装置の流入部と流出部および放気口部に取り付けた流量計の測定値の比較により、気泡量の実時間計測が可能であることを示した。また油をサンプリングして精密電子天秤で比重測定を行うことにより、流量センサの校正や測定精度の検証、気泡量の計測と同定を行い、気泡分離除去技術の有効性を示した。
- 気泡除去装置の性能向上とタンク配置や構造の工夫により、タンク内の気泡削減効率がより向上することを確認し、油タンク容量の小型化への方向性を見出した。
- 次世代の建設機械を想定した 45MPa 対応の高圧実験装置を用いて、劣化試験用キャビテーション気泡観察実験や油中気泡の除去がキャビテーションに与える影響を実験的に検討し、装置の有効性を示した。
- 油の剛性実験装置を用いて、高圧下において油中気泡が油の剛性に与える影響を測定し、装置を用いた油中気泡の除去が油の剛性を大きく向上させ、圧縮における動力伝達損失を大幅に低減できることを示した。
- センサ・フィージョンによるスマートモニタシステムの開発について、油や材料の劣化と気泡量の関係、気泡除去率と油流出率の関係などについて、解析や実験を通してその関係を検討した。また計測機器からパソコンへ無線でデータを送信して処理する等の研究を進め、スマートモニタへの見通しをつけた。
- 成果を踏まえた建設機械作動油検証装置を製作し、国内の建設機械企業や油圧関連企業への成果報告会を通して、油中気泡の分離除去システムの有効性を示した。

これら一連の成果は、油中気泡除去技術の高度化とシステムの高性能化の確立に威力を発揮し、今後の建設機械の高強度化と長寿命化に大きく貢献するものと期待される。

今後は平成 22～24 年度の成果を踏まえ、事業化・製品化のための研究開発プロジェクトを継続して実施する予定である。

最後に 3 年間の研究開発プロジェクトの実施にあたり、経済産業省・関東経済産業局、(株)ティーエヌケー、一般財団法人機械振興協会・技術研究所、学校法人・法政大学の関係者の方々には、様々な形でお世話になっており、この場を借りて御礼申し上げます。