

KSK-GH22-4-2

平成22年度 製造業の基盤的技術の拡充強化に関する
研究等補助事業

生産環境のグリーン化に関する研究

—作動・潤滑油の環境負荷低減に関する研究—

平成23年 3 月

財団法人 機械振興協会 技術研究所



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>



生産環境のグリーン化に関する研究

— 目 次 —

作動・潤滑油の環境負荷低減に関する研究	五嶋裕之, 川口聖司	1
1. はじめに		1
2. 研究の必要性和目的		1
2.1 気泡除去の必要性		1
2.2 気泡除去の目的		1
3. 気泡除去の技術開発動向		2
3.1 気泡除去技術の現状		2
3.2 市販の脱泡装置		4
4. 気泡除去の実験		5
4.1 目的		5
4.2 油気泡除去装置と原理		5
4.3 油の温度上昇抑制		7
4.4 油の劣化抑制		9
5. 赤外分光法による油劣化の評価		10
5.1 赤外分光法の原理		10
5.2 試験油の分析結果		12
6. 成果の普及活動		12
7. おわりに		12
謝 辞		12
参考文献		13

< 研 究 >

作動・潤滑油の環境負荷低減に関する研究

五嶋 裕之*¹ 川口 聖司*²

Bubble elimination in working oils for reduction of environmental burdens

Hiroyuki GOTO & Satoshi KAWAGUCHI

1. はじめに

作動油や潤滑油,加工油は広く一般産業,機械,輸送機器などで利用され,国内で消費される総量は約200万キロリットル(2008年石油連盟資料)となっている. 図1.1に示すような資源高騰,環境負荷軽減,機器ライフサイクルコスト低減の観点からこれら作動油,潤滑油のロングライフ化が強く求められている. 油劣化の原因は,主に酸化と熱的な分解である. この結果,スラッジ生成・堆積,フィルタ目詰まり,機器誤作動・損傷などの問題が生じる.

この対策の一つとして,近年,油中気泡を積極的に除去することが,油の寿命延長に大きな効果があることが報告されている. しかしながら,気泡を効率良く除去し,小形,低コストで実用的な装置が少なく,気泡除去性能の定量的で標準的な評価手法についても確立されていないことが大きな課題となっている. 本研究では,気泡除去技術および気泡除去の定量的で標準的な評価手法について調査・研究開発を行い,実用化を目指す. 本報では本年度の研究成果を報告する.

2. 研究の必要性と目的

2.1 気泡除去の必要性

建設機械や船用機器,各種試験装置などに多用される油圧駆動システムでは,システムの小形化(油タンク容量の低減)や省資源・CO₂削減(使用油量の低減)と高压化の両立が大きな課題である. 従来の一般的な油圧システムは,油面から空気の巻き込みや溶存空気の析出により,作動油に

気泡が混入することが多い. この対策として,従来はタンク内で気泡を浮上させて自然放気除去することが行われてきた. 放気を行うためには大容量の油タンクが必要となり,油量削減,タンクの小型化といった課題の解決が困難となっている.

本研究は,地球環境負荷削減への貢献を最終目的とし,油中気泡の除去技術の先行技術調査からスタートし,油圧システムの小型化と油の寿命延長に大きな効果がある,効率的で安価な気泡除去技術を確立することを目指す.

2.2 気泡除去の目的

通常の油圧駆動システムの油には,数%~10%の気泡が存在している. 気泡除去を行うことで,気泡混入による動力伝達ロスを低減できる. また,油中に存在する空気による酸化と熱的な劣化を防止できるため,油の寿命を延長することが可能になる. さらに,気泡の混入による油圧駆動システムに起こる下記に示すようなトラブルの防止・軽減効果も期待できる.

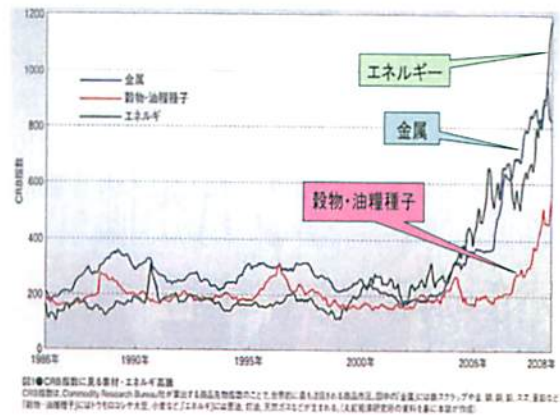


図1.1 資源・エネルギーの高騰 1)

* 1 生産技術部 システム課

* 2 計量技術部 材料試験分析課

(1) キャビテーションの発生

液体の圧力の低い部分が気化、あるいは溶存空気等が析出して、非常に短い時間に気体のポケットが生まれ、また非常に短時間でつぶれて消滅する現象のことをキャビテーションと呼ぶ。キャビテーションが発生すると後述するような、さまざまなトラブルの原因となる。

(2) 油圧駆動機器の性能低下

本来は機械を駆動するために使われるべきエネルギーが、キャビテーションや振動などの仕事で消費され、また気泡混入による油の圧縮性の増加により、性能が著しく低下する。

(3) 騒音の発生

キャビテーションが発生すると機器に大きな騒音が発生する。騒音は高压下ではより大きくなる。

(4) 壊食(壊蝕, エロージョン)発生

キャビティ崩壊の際に、瞬間的に非常に高い圧力が発生し、これが油圧駆動機器の表面にへこみや傷をつける。機器の運転中はずっとこれが繰り返されるので、長時間が経つと、機器の表面がボロボロになったり、端が欠けたり、ひどい場合は大きな穴が開いたりする。これを壊食またはエロージョンと呼び、機器寿命に深刻な影響を与える。

(5) 油温の急激な上昇

気泡はポンプなどで瞬間的に加圧されると温度が急激に上昇する。例えば27°Cの気泡を35MPaに加圧すると計算上1,377°Cにも達する。また空気は熱を伝達しにくいので、油中に気泡が含有すると、熱伝達係数を下げ冷却性能が低下する。

(6) 油の劣化

油温の上昇は酸化劣化促進の要因になる。酸化反応の原理から、作動油は60°C以上になると、10°C上昇する毎に酸化劣化速度は2倍になり作動油の

寿命が短くなる。

以上より、研究の必要性和目的をまとめると図2.2、図2.3のようになる

3. 気泡除去の技術開発動向

3.1 気泡除去技術の現状

分散気泡は気体の粒子として液中に存在し、すでに述べたように多くのトラブルの原因になる。気泡の発生原因としては液の攪拌・落下、キャビテーション・動揺による自由表面からの巻き込み(スロッシング現象)、システム内に滞留した空気などが考えられる。分散気泡に対しては消泡剤を添加すると、気泡と消泡剤が結合し浮上しにくくなりかえって逆効果である。したがって、分散気泡そのものを除去する技術は非常に重要である。以下に、現在実用化されている技術を示す。

(1) 真空を利用する

液体中の混入気泡を“完全に除去”するには、理論的には液体を真空状態下に置く、すなわち、真空ポンプによる気泡除去が最も確実な方法と考えられる。

(2) 温度を上げる

液体の沸点近傍、あるいは変性点付近まで液体温度を上昇(沸騰)させて、気泡の排出を促進させる方法も考えられる。しかし、このために必要な熱容量、すなわち、必要エネルギーが極めて大きくなるため、現実的には、温度上昇のみにより気泡除去を図ることは不可能である。ただし、他の脱泡方法とこの温度上昇方法を組み合わせ、気泡除去を行うことは有用だと考えられる。

(3) 流速を遅くする

流速を遅くして気泡が排出されるのを待つ。すなわち、開放容器内に液体を放置することで、消極的ではあるが自然放気を促す方法が考えられる。大きな開口面積の油タンクなどがこれに相当する。

(4) 超音波を利用する

脱泡・脱気するには、上記のように温度を上げる(煮沸)手法や減圧する手法がある。

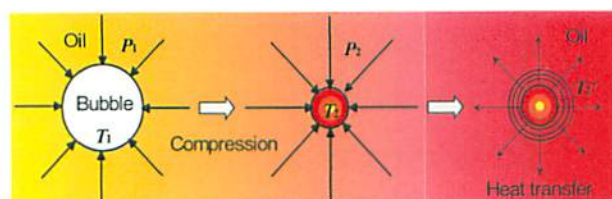
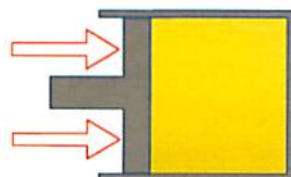
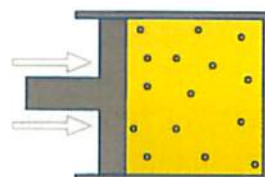


図2.1 気泡による温度上昇

従来技術の課題1



油中気泡無し(強度大)

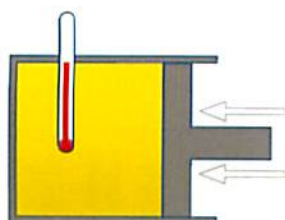


油中気泡有り(強度小)

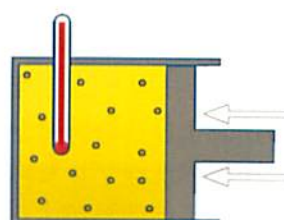
- 通常の油圧駆動システムの油には、数%～10%程度の気泡が存在しており、見かけ上の油の剛性が低下し、動力伝達ロスが発生する。
- 油中気泡(キャビテーション)は機器の寿命を短くしたり、騒音が増大し、機器故障の原因となる。

図2.2 従来技術の課題1

従来技術の課題2



油中気泡無し(油温上昇低)



油中気泡有り(油温上昇高)

- 油中に存在する空気がポンプ等で加圧圧縮されることによる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。
- 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。

図2.3 従来技術の課題2

これらの方法に比べて超音波による脱泡は、液体の温度変化が小さいといった特長がある。また、超音波では、照射した直後より効果があり、簡便に脱泡・脱気を行うことが可能である。液体中には、気体が気泡あるいはガスのままで混合されていると考えられる。これが一般的に溶存酸素等といわれる物である。この液体中に超音波を照射すると、液体中に高圧部と低圧部が交互に存在することになり、低圧部では溶存していた気体が膨張し、その気体が圧力の低い部分にさらに集まることとなり、互いにぶつかりながら大きくなる。この気泡が目に見える大きさに成長すると液面に浮上する。この方法では通常、超音波の数分間の照射で「脱泡・脱気」効果が得られるという特徴がある。また、加圧または減圧（真空）と超音波とを併用することで、さらに脱泡・脱気効果が高まる。なお、超音波式に限ったことではないが、粘度が高いと一般に脱泡が困難になる。

(5) 液体の速度エネルギーの利用

液体の速度エネルギーの一部を利用して、いわゆる、圧力差を生じさせて、気泡分離させる方法が実用化されている。装置内部に強い旋回流を形成し、外周部に対して中心部の圧力を低下、この圧力低下により溶融している気体を遊離させる技術である。

3.2 市販の脱泡装置

超音波方式を利用した先行技術として、半導体プロセスでの洗浄方法および洗浄装置としての開発事例がある。半導体洗浄プロセスでは、洗浄水中に微細気泡が長時間浮遊することによって微細気泡洗浄と超音波洗浄の切り替え時間が長くなることを防止するため、超音波により気泡を破泡する技術を追求している。超音波を利用した別の開発事例では、溶液槽に浸漬された基板の表面に対し処理溶液を吹き付けるシャワーヘッド群と、シャワーヘッド群と基板とを相対的に移動するシャワーヘッド移動部を有する脱泡装置を提案している。

また、各種流体の塗布作業では、塗布工程

前に行われる攪拌、分散、送液等の操作によって分散気泡が生じやすく、気泡を含んだままの塗布液を塗布装置に供給して支持体に塗布、乾燥すると、塗布膜に泡筋、ピンホール等の泡故障が発生し、均一で良好な塗布膜を形成することができない。したがって、前記塗布工程までに十分な脱泡処理を施す必要がある。このような目的で使用される脱泡方法として超音波を利用した方法が数多く提案されている。

また、内燃機関の潤滑油気泡除去装置として、超音波振動子の加振によって潤滑油が振動することにより緩衝板上の潤滑油の気泡が除去され（消泡）、消泡された潤滑油がオイルパンにリターン孔を通じてオイルパンに落下するようになる装置が提案されている。

液体の速度エネルギーの一部を利用して、旋回流を発生し、気泡分離させる装置も一部実用化されている。このタイプの気泡除去装置は原理が簡単であり、機器への組み込みも容易なことから、今後の発展が大いに期待される。なお、洗浄装置向け水中気泡の除去に比べて、粘度の高い油中気泡の除去は極めて難しい技術であり、部品メーカー、建機メーカーなどが様々な手法を模索中である。図3.1、図3.2に市販装置例を示す。



図3.1 市販真空脱泡装置例

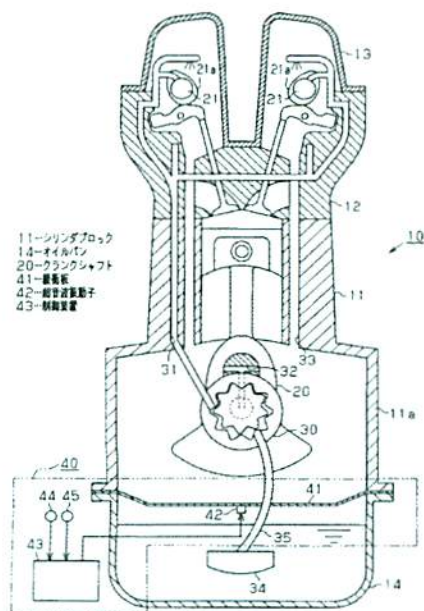


図3.2 エンジン潤滑油超音波脱泡装置

4. 気泡除去の実験²⁾

4.1 目的

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（出力アップ）および小形化のためには、システムの高圧化（21MPa→45MPa）が有効であるため、図4.1に示すように建設機械における運転圧力は増加傾向にある。しかし、運転圧力を高圧化すると、油タンクの油面からの空気の巻き込みや溶存空気の析出（キャビテーション）により、駆動システムの油には常に気泡が混入することが問題となる。油中に気泡が存在すると、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。通常の油圧駆動システムの油には、数%～10%の気泡が存在しているが、既存の技術では完全な除去が困難である。現在行われている方法は、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。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ができれば、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

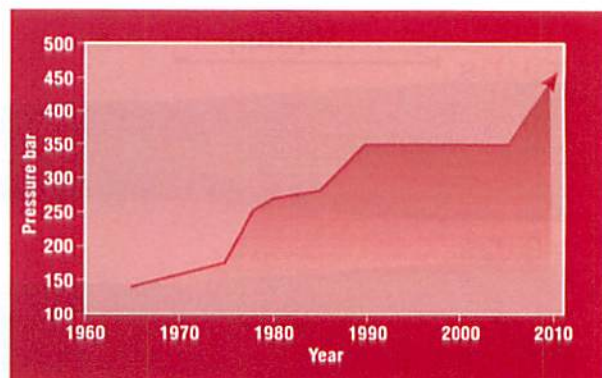


図4.1 建設機械の運転圧力の増加³⁾

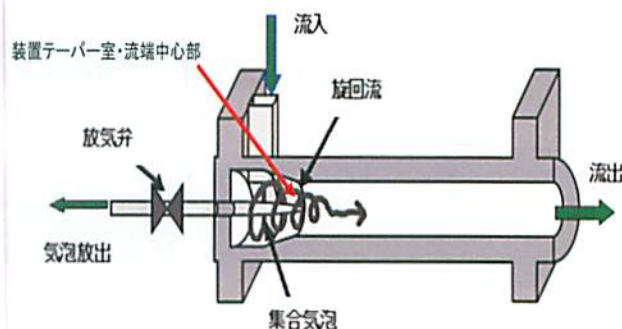


図4.2 気泡除去の原理



図4.3 気泡除去装置概観

ことが可能になる。

本研究では、外部動力なしで効率良く気泡を除去できる気泡除去装置を利用して気泡を積極的に除去し、動力伝達システムの低騒音化、小形化と油の寿命延長を狙う。本年度は、油圧動力伝達システムのメンテナンスコストの極小化と高性能化を両立することが可能かどうか、基礎的な検証実験を行った。

4.2 油気泡除去装置と原理

空気の巻き込みや溶存空気の析出により作動油中に分散した気泡は、気泡径が小さいほど浮上

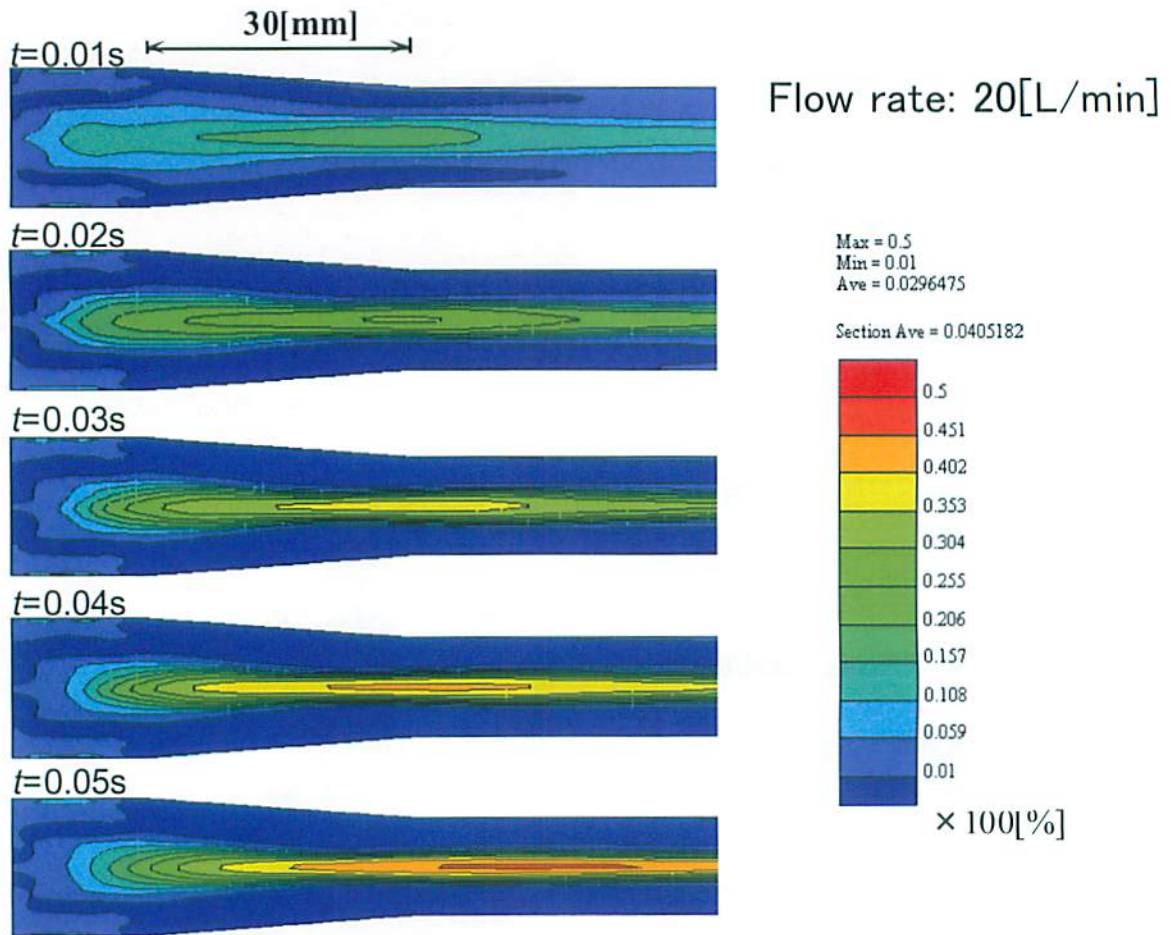


図4.4 数値解析による気泡除去の概要

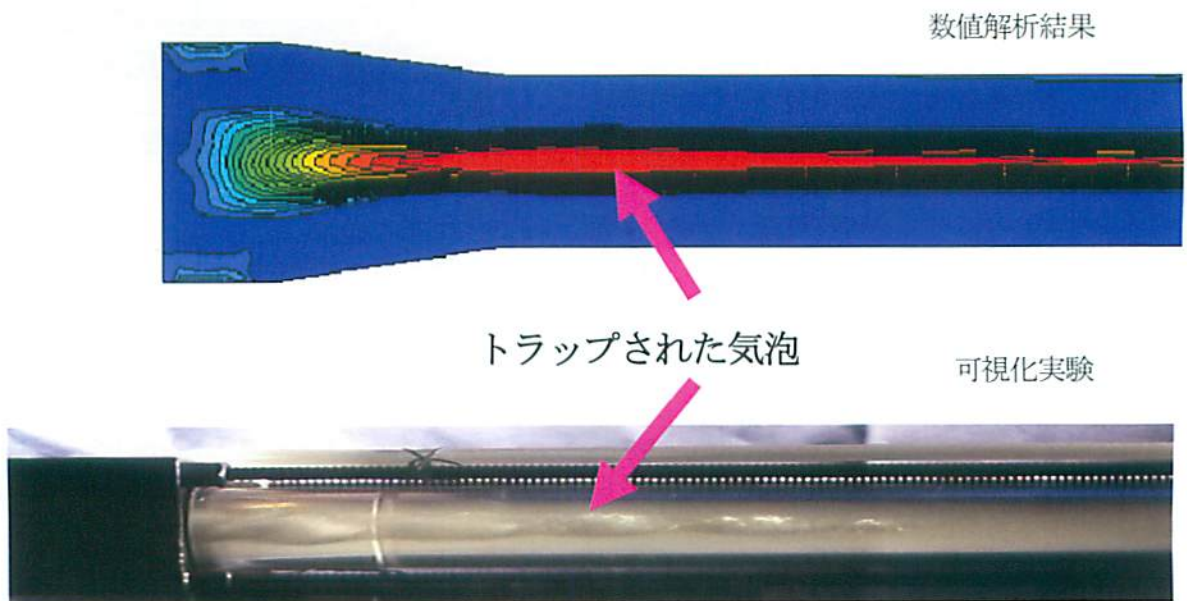


図4.5 数値解析と可視化実験の比較

と自然放気に時間を要する。除去されない気泡が油圧ポンプで高圧に加圧されると、油中の気泡は短時間で急激に圧縮され温度が上昇する。理想的な断熱圧縮を仮定した場合、35MPaで加圧された27℃(300K)の気泡(空気)は1,377℃(1650K)に達し、周囲の油の温度上昇を引き起こす。これが油の劣化要因の一つである。

油圧駆動システムに悪影響を及ぼす、こうした油中気泡を積極的に除去するために、旋回流を用いた気泡除去システムが非常に有望であると考えている。この装置は旋回流を用いて中心付近に気泡を集合させ、発生した圧力差による簡易な原理で、効率よく油と気泡を分離することができる。

図4.2に評価した装置の原理図、図4.3に概観を示す。テーパ部を持つ円筒容器内部に接線方向から流入した気泡を含む油は、テーパ管路内で旋回流を形成しながら、下流方向へ加速して流れる、旋回流により油中の気泡は中心軸上に集合し、お互いに合体しながら気泡柱を形成する。下流方向への流れにより、テーパ管路の終端付近で中心軸上の圧力は極小となり、その後、流速の減速とともに圧力は徐々に回復する。したがって、旋回流により集合した気泡は、下流へ流されることなく停留する。ここで全体に背圧かけ放気口を開くと、集合した気泡は流れと逆方向の放気口より押し出され、油と気泡が効率よく分離される。図4.4に数値解析結果、図4.5に数値解析と可視化の比較による気泡トラップと除去の概要を示す。この装置を用いて油中気泡を積極的に除去することにより、油の温度上昇と劣化の抑制効果が期待できる。

4.3 油の温度上昇抑制

油中気泡の除去による油の温度上昇抑制効果を確認するため、図4.6に示す空気の巻き込み現象を模擬した実験装置を製作し、タンク内の油の温度を測定した。タンクを含む油圧回路全体は振動台でゆっくりと加振され、揺れに伴いタンク内の油は上面から空気を巻き込み、油中に気泡が混入する。油圧回路の下流部には気泡除去装置が設置され、装置を稼働して気泡を除去する場合と装置をバイパスして気泡を除去しない場合との二つの条件で測定を行う。

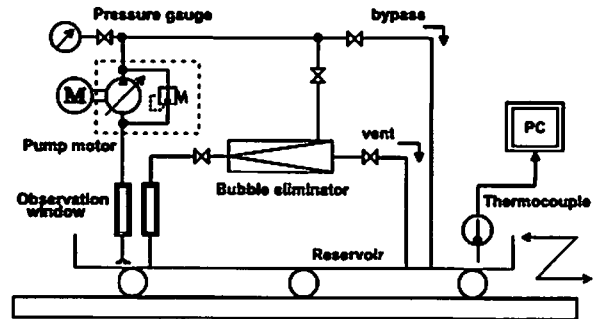


図4.6 実験装置概要

実験では、一般の建設機械に使用されている油圧システムの中からポンプ吐出量240L/min、タンク容量60Lの1/20モデルを想定し、ポンプの平均吐出量12L/min、タンク油量を3Lとした。回路内への気泡の混入状況や除去後の回路内の油の様子を観察するために、タンクは透明アクリル製とし、ポンプ吸い込み側とリザーバへの戻り側に観察窓を設けた。

図4.7に振動させない条件①と②、150分間振動させながら測定した条件③と④の温度変化を比較して示す。結果はすべて、測定開始を時間と油温度の原点にとり、時間経過に伴う温度上昇として示した。

条件①と②では、気泡除去装置を使用した条件②のほうが温度上昇を抑制できることが確かめられた。これは、気泡除去装置を使用することで、油中に初めから存在していた混和空気や溶解空気がある程度除去され、結果として温度上昇が抑制できたためと考えられる。また、振動を加えた条件③と④では、条件①と②のような明確な相違が見られない。これは加振による空気の巻き込みが空冷効果を生み、両者ともに温度上昇が抑制されたことが理由として考えられる。しかし、詳細に見ると、条件④の方が条件③よりも、温度上昇の抑制効果は大きく、タンク内の温度上昇を約11%抑制することができる。これは気泡を除去することによる油の温度抑制効果であると考えられる。

図4.8は実際の建設機械に搭載したフィールド実験結果である。ポンプ流量最大268L/min、タンク容量は130Lの中形油圧ショベルにおいて、油の温度上昇を5℃ほど抑制できることが確かめられた。このように、油中気泡の除去は、油の温度上

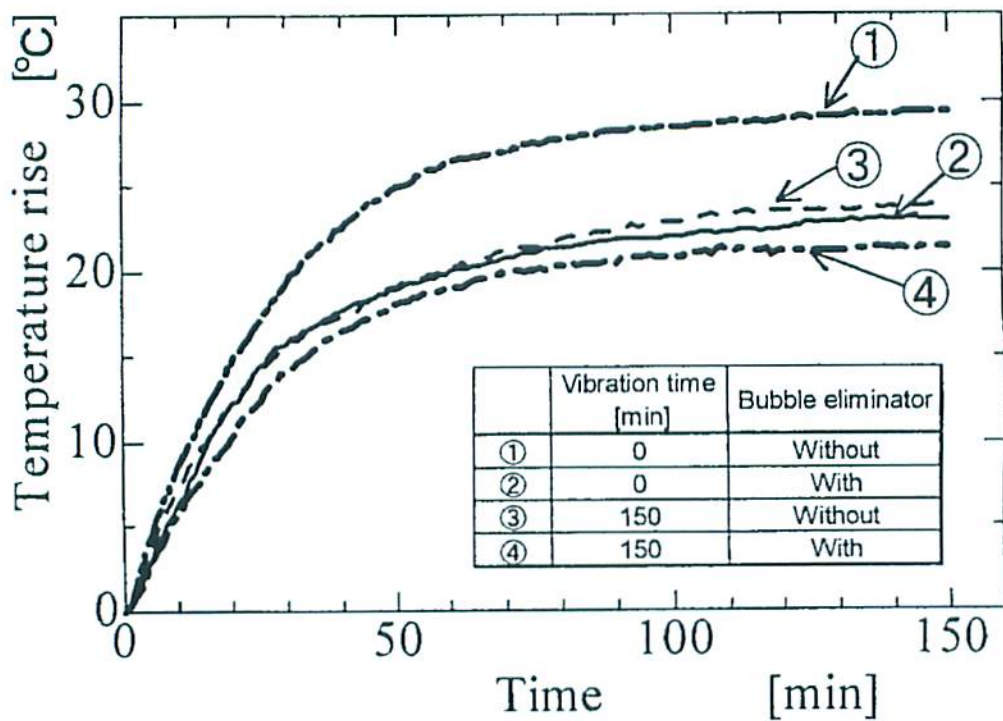


図4.7 気泡除去による温度上昇の抑制

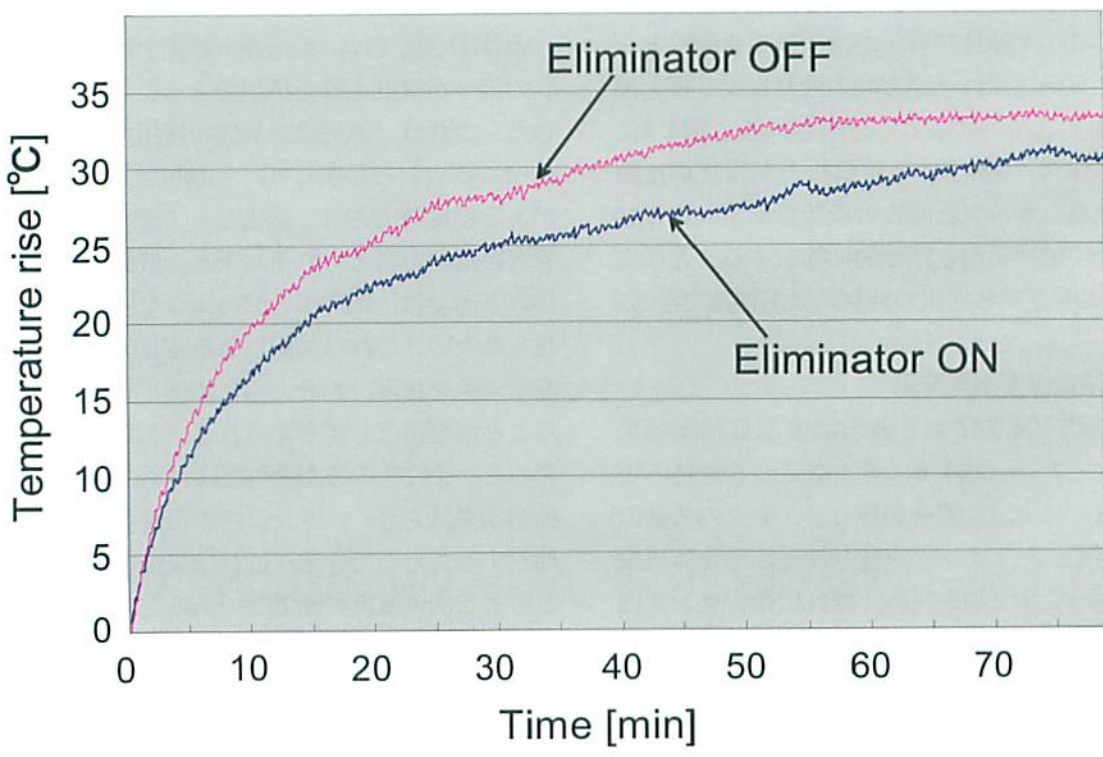


図4.8 実際の建機による温度上昇の抑制実験

昇を抑制し、結果的には油圧システムの冷却装置で消費するエネルギーの削減や装置の小形化、油タンクの容量を小さく抑えられる可能性がある。

4.4 油の劣化抑制

図4.9は油の劣化試験に用いた実験装置の概略である。ポンプ吸い込み側から空気を吹き込みながら、下流で気泡を除去しない場合（条件A）と除去する場合（条件B）とで、油の劣化度合いの指標である全酸価値を測定する実験を行った。実験時のポンプ流量は23L/min、圧力7MPa、空気の吹き込み量はポンプ流量の3%、タンク内の油温は60℃で一定に保ち、ほぼ48時間毎に油をサンプリングして分析を行った。

図4.10に分析結果の一例を示す。運転200時間を超えるあたりから、気泡を除去しない条件Aの全

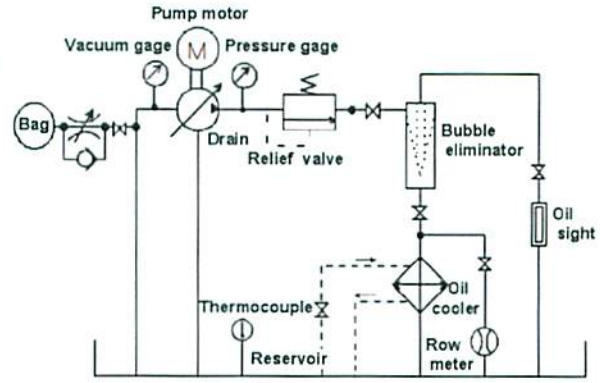


図4.9 油の劣化実験

酸価値が上昇し、456時間後には気泡除去を行った条件Bに比べ2倍程度まで劣化が進んでいることがわかる。したがって、油中の気泡除去は油の寿命を大幅に伸ばせる可能性があることがわかる。

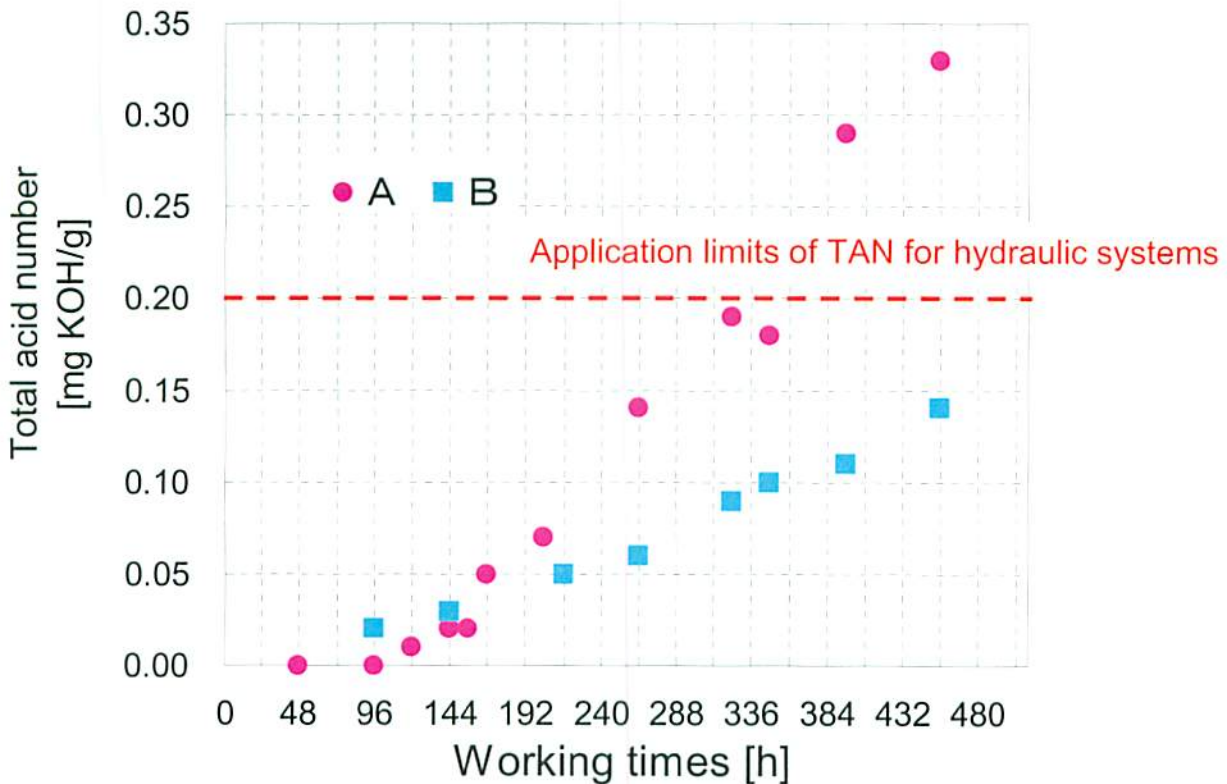


図4.10 油の劣化実験による全酸価分析結果

5. 赤外分光法による油劣化の評価

すでに述べたように、油の劣化度は全酸価分析により評価できる。しかしながら、全酸価分析には時間と手間がかかるため、より簡便に分析が可能な赤外分光法により評価ができないか検討することにした。

5.1 赤外分光法の原理

図5.1に示すように、赤外光は可視光より長波長(約0.8 μm ~1 mm)の電磁波である。さらに、この電磁波は波長領域で細かく分類され、それぞれ近赤外(0.8~2.5 μm)、中赤外(2.5~25 μm)、遠赤外(25 μm ~1 mm)と呼ぶ。

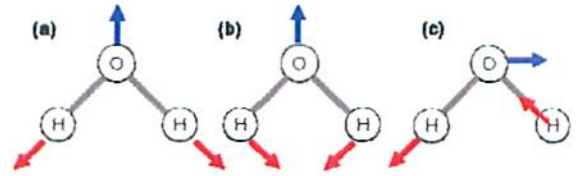
なお、赤外光の表記単位として波長 λ 、周波数、エネルギー等があるが、式(5.1)で定義される波数 $\tilde{\nu}$ (wavenumber)で表記する。

50000 25000 12500 4000 400 10 cm^{-1} (波数)						
真空紫外	紫外	可視	近赤外	中赤外	遠赤外	
	200	400	800	2500	25000	1000000
			2.5 μm	25 μm	1 mm	
	600	300	150	48	4.8	0.12
						kJ/mol
						(エネルギー)

図5.1 電磁波の分類

$$\tilde{\nu}(\text{cm}^{-1}) = \frac{10^4}{\lambda(\mu\text{m})} \quad (5.1)$$

約10,000から100 cm^{-1} の赤外光は有機物分子により吸収され、分子振動のエネルギーに変換される。分子振動は原子の相対質量、化学結合の力の定数および原子の幾何学的配置に依存するため、有機物分子により吸収された赤外光には有機物の化学構造等の情報が含まれている。単純な例の一つとして水分子(H_2O)の例を図5.2に記す。図中に示すように、水分子は赤外光により量子化された3種のモード(伸縮振動:原子の結合長の変化、変角振動:結合角の変化)で振動することが知られている。図5.3に示すような一般的な赤外分光

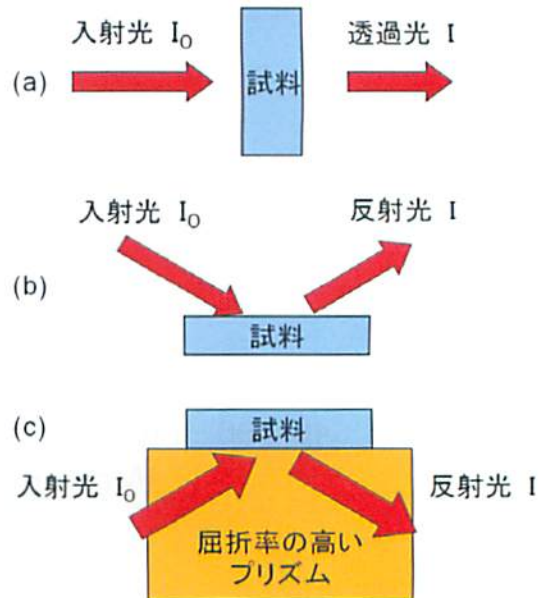


(a) 対象伸縮振動 3,652 cm^{-1} , (b) 変角振動 1,596 cm^{-1} , (c) 逆対象伸縮振動 3,756 cm^{-1}

図5.2 水分子(H_2O)の分子振動



図5.3 赤外分光装置の一例



(a) 透過法, (b) 反射法, (c) ATR法
(I , I_0 は強度)

図5.4 赤外分光装置の主な分析手法

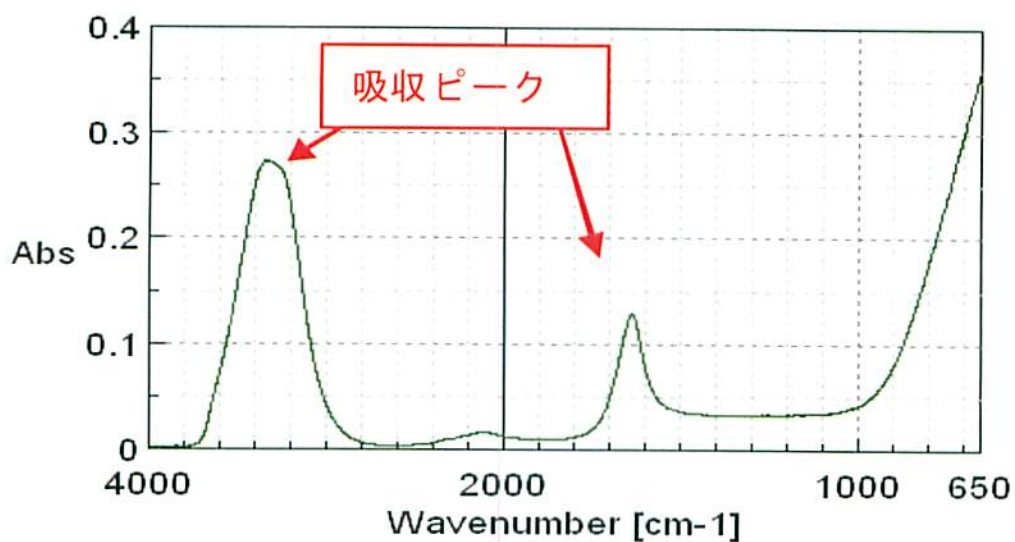


図5.5 水分子(H₂O)の赤外吸収スペクトル

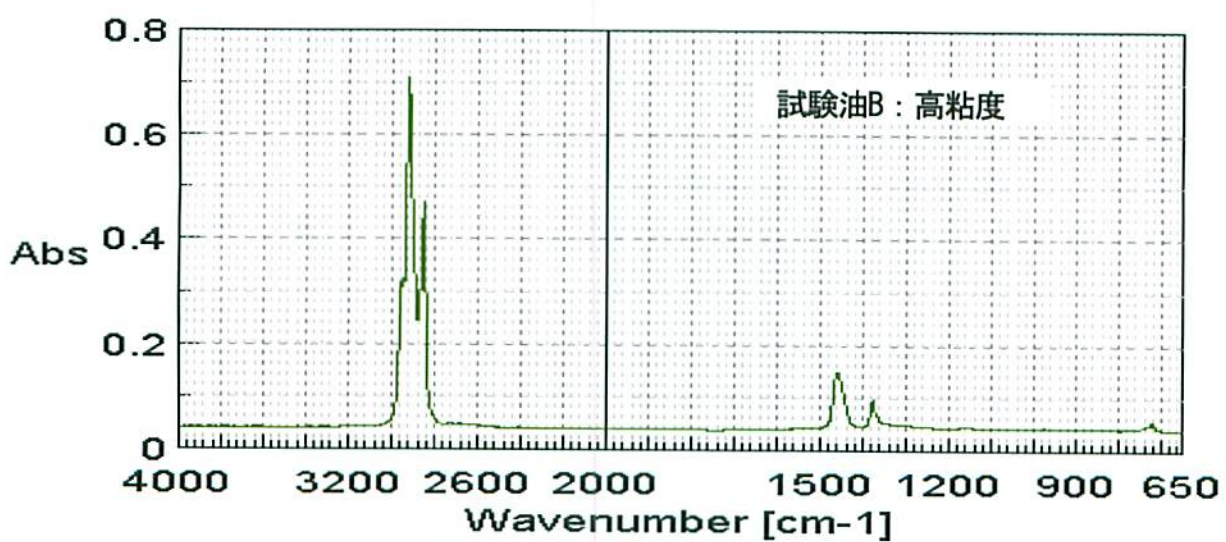
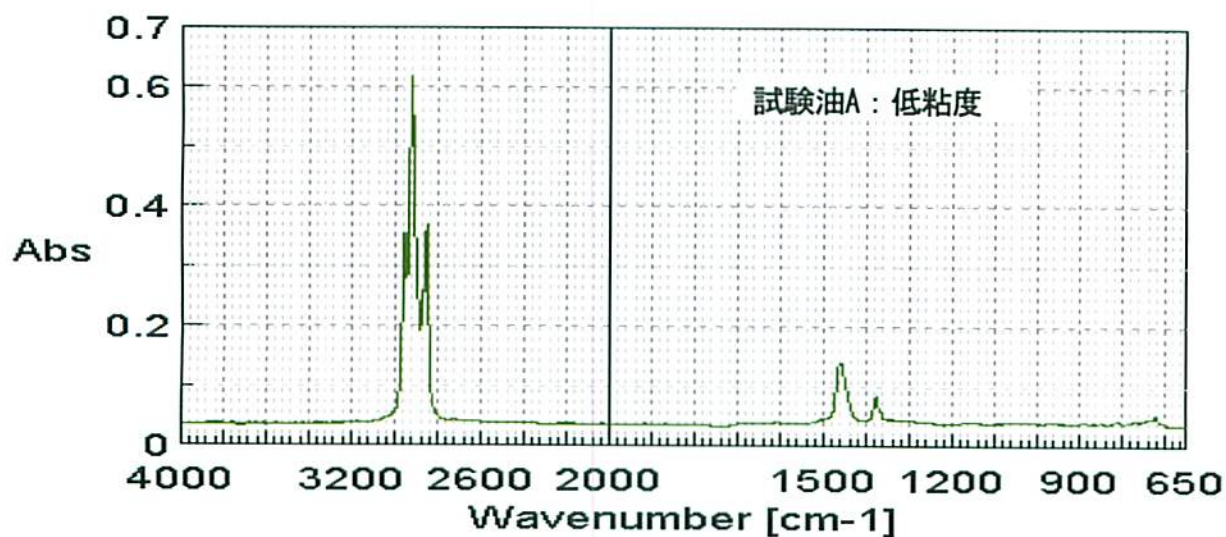


図5.6 試験油の赤外吸収スペクトル例

装置における主な手法を図5.4に示す。物質に光を照射した際の透過光を分析する手法が(a)透過法であり、物質からの反射光を分析する手法が(b)反射法である。また、(c)ATR (attenuated total reflection) 法は屈折率の高いプリズムに試料を接触させる手法であり、プリズムの中から照射した赤外光が試料とプリズムの界面において反射する現象を利用した手法である。透過光および反射光は、入射光の一部の波長の光が吸収されている。

赤外分光における図5.5に示すようなスペクトルは、物質に赤外光を照射した際の波数と式(5.2)～(5.5)に示すような吸収の度合い(吸収率% T ・反射率% R ・吸光度Abs,)を示したものである。

【透過】

$$T = \frac{I}{I_0} (\%T = T \times 100) \quad (5.2)$$

$$Abs = -\log(T) \quad (5.3)$$

【反射】

$$R = \frac{I}{I_0} (\%R = R \times 100) \quad (5.4)$$

$$Abs = -\log(R) \quad (5.5)$$

5.2 試験油の分析結果

本研究の対象である作動油の場合も上記で解説した原理により赤外吸収が起きる。従って赤外分光法を油に適用することにより、作動油における油の組成、劣化情報(物質の化学変化、劣化生成物の検出等)の取得が期待できる。本年度は予備実験として、実験前の新油の状態の作動油(鉱油系)の赤外分光分析を実施した。図5.6に示すように新油の状態では、鉱油系に特有なピークスペクトル以外は観察されないが、耐久実験などにより油の劣化(酸化劣化や汚染)が進展すると特有のピークが現れることで、劣化の状態が把握できると期待される。また、鉱油Aと鉱油Bのピークスペクトルを比較すると、油の組成の違いについても判断できることがわかった。

6. 成果の普及活動

本年度は、査読付き学術論文誌1件(日本フルードパワーシステム学会)⁴⁾、国際会議発表1件(I CMT2010)⁵⁾、国内学会発表1件(日本機械学会年次大会)²⁾など、専門学会での関連研究発表を行い、内外の専門研究者と議論を深めた。また、一般技術者向けとして、当所主催の一般公開において、技術展示、解説を行い、現場での質疑応答を通じて、意見などの取り込みを行った。さらに、当所ホームページによる広報、技術相談を通じて、成果の普及のためのPR活動を行った。

7. おわりに

本年度は、環境負荷低減を目的として、油中気泡の積極的な除去技術による油圧システムの小形化と油の寿命延長の効果について考察した。その結果、下記のような成果が得られた。

- (1) 気泡除去の技術開発動向を調査
- (2) 気泡除去による温度上昇抑制を検証
- (3) 気泡除去による油劣化の抑制を検証
- (4) 赤外分光法による油劣化の評価

以上の検討結果から、今後、油圧駆動システムの高圧化はますます進み、その上で、システムの小形化、高効率化と油使用量の削減(省資源化)、油冷却エネルギーの削減を両立し、地球環境負荷の低減をさらに進める必要がある。そのキーテクノロジーとして、油中気泡除去技術は欠かせないものであると考える。

謝 辞

本研究は、財団法人JKAの競輪補助金を受けて実施したものであり、ご支援いただいた関係各位に深く感謝いたします。また、法政大学 デザイン工学部 田中豊教授、オーパスシステム 気泡除去研究所 鈴木所長には実験データの提供などご支援いただきました。お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 特集「素材高とはこう闘う」,日経ものづくり, No9, pp.48,2008
 - 2) 田中, 鈴木, 五嶋: 環境負荷低減を目的とした油中気泡の除去, 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol. 5, pp. 299-300, 2010
 - 3) Operating Pressure Trend of Hydraulic Excavators , Machinery Lubrication Magazine , Vol.1, 2008
 - 4) 五嶋, 田中, 一柳: パラレルメカニズムを用いた曲げ加工機による管材の三次元加工, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vo. 41, No. 4, pp. 8-13, 2010
 - 5) Y. TANAKA, Y. SHIGA, H. GOTO, H. TAKEDA: Design of Six Degrees-of-freedom Tripod Parallel Mechanism for Flight Simulator, Proceedings of the 14th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2010), CD-ROM, 2010
-

研究報告書

KSK-GH22-4-2

生産環境のグリーン化に関する研究

—作動・潤滑油の環境負荷低減に関する研究—

平成 23 年 3 月 31 日発行

発行所 財団法人 機械振興協会 技術研究所
(〒203-0042) 東京都東久留米市八幡町一丁目 1 番 12 号
電話 042-475-1155 (代表)

印刷所 株式会社 芳文社
(〒194-0033) 東京都町田市木曾町 2320
電話 042-792-3100