

油圧回路設計 / 解析システム ICAD / SX - OCS の有効性と事例紹介

山本 耕 治**

1. はじめに

近年、機械設計において、機械専用 CAD と連携した解析ツールが市場には既に多数存在している。構造解析や機構解析などのツールは、よく知られているところである。これらツールは、開発の効率化、開発力の向上に寄与し、今や機械設計に必要不可欠なものとなっている。しかしながら、油空圧の回路設計においては、2次元の機械 CAD を利用した作図の域を脱しておらず回路の最適性・妥当性を確認するには、実際に、開発基準を満足するまで試験・実験と設計変更を繰り返し、多大の開発工数をかけているのが実状である。また、解析を行うにしても、CAD とは別にモデルや解析プログラムの作成が必要であり、設計者への負担が大きくなっているのが現状である。

上記の問題を解決するために、油圧回路設計から動特性解析までの一連の処理ができるツールソフト ICAD / SX - OCS (以降 OCS と略す) を富士通九州システムエンジニアリングと共同開発した。

ここでは、OCS の設計から解析までの一連処理がいかにか有効であるか事例を挙げて紹介する。

2. 油圧設計 CAD

まず設計に必要な油圧設計専用 CAD 機能を、設計手順に従って説明する。

2-1 シンボル配置

JIS に準拠した油圧シンボル(一般シンボル約 100 点、解析用シンボル約 70 点)が標準で登録されているため、設計者は、登録された油圧シンボル群から必要な油圧シンボルを容易に配置することができる。また、図 1 のような独自のテンプレートを作成しておけば、さらに油圧シンボルの配置は簡単になる。

2-2 配管作成

図 2 のようにシンボル間をラインで結ぶと、自動的にシンボル間を垂直水平ラインでつなぐことができ、ラインは配管と認識される。また、配管同士を結合すると自動的に結合子を付けることができる。

2-3 回路移動

規定製図用紙内に回路をバランスよく収める必要があるとき、油圧シンボルや配管のレイアウトの変更で思わぬ設計工数をかけることがある。本機能は、図 3 のように油圧シンボルと配管の接続関係を保持したまま油圧シンボル(配管)の移動が可能であり、シンボルを消去・再配置・配管の結合といった面倒なレイアウト変更を必要としないため、簡単にレイアウト変更ができる。また、油圧シンボルの追加も、配管ライン上に油圧シンボルを配置すれば自動的に配管ラインを切断して油圧シンボルを配置することができる。もちろん、削除すれば、自動的に元の配管ラインに戻すことができる。

リリーフ弁 1 2MPa	リリーフ弁 2 2MPa	チェック弁 0.2MPa	リリーフ弁 3 20MPa	リリーフ弁 4 19.6MPa
固定ポンプ 10L/min	固定ポンプ 5.6L/min	固定ポンプ 6L/min	油圧モータ	ワインチ装置
タンク	シリンダ 1	シリンダ 2	リンク付きシリンダ	
ソレノイドバルブ 1	ソレノイドバルブ 2	フロコン弁		

図 1 独自のテンプレート

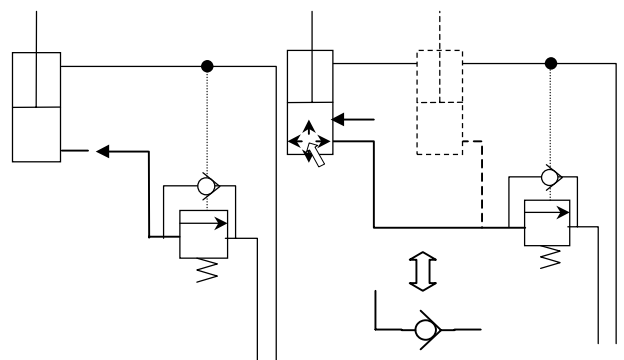


図 2 垂直・水平ライン

図 3 回路移動

2-4 接続チェック

図 4 のように油圧回路内において、配管ラインが正常につながれていなかった場合、正常につながっていないシンボルを、自動的に色を変えて知らせることができるため、複雑な回路設計には大変便利な機能である。

*14年3月10日 原稿受付

**株式会社タダノ 技術研究所 調査室

(所在地 〒761-0301 高松林町 2 2 1 7 - 1 3)

2-5 P&I 集計

油圧シンボルに製品番号、仕様、価格などユーザー独自の情報を付加しておけば、これら油圧シンボル情報を集計して CSV 形式で吐き出し、自由に加工した後、図 5 のように回路図の部品表や発注表に利用することができるので、部品（個数）の確認が容易にミスなく行うことができる。

以上のように、機械 CAD にはなかった油圧回路設計に必要な機能を実現することで、図面の品質の向上と同時に設計時間の短縮に寄与することができる。

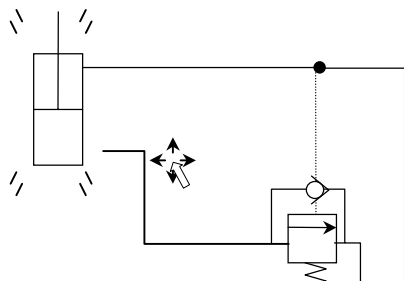


図 4 接続チェック

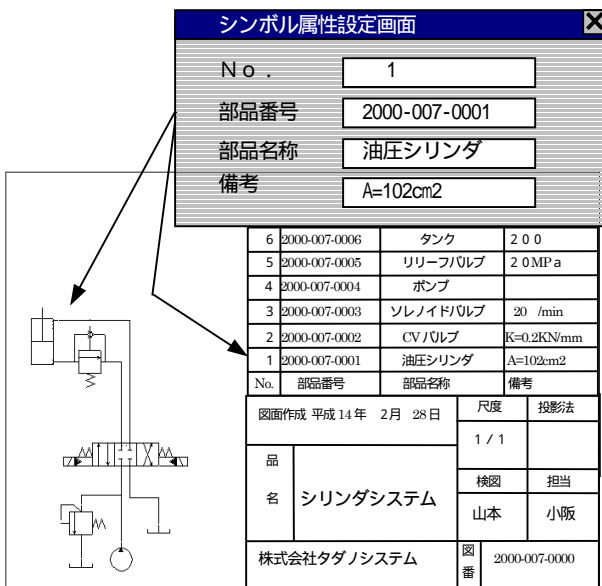


図 5 油圧回路図

3. 油圧回路解析

OCS で設計した油圧回路（図 5）は、油圧解析モデルとなるため、別途解析モデルを検討・構築する必要がない。次に動特性解析であるが、直管を具体例に挙げて説明する。

3-1 解析対象

図 6 の直管内を流れる流体の急閉鎖実験の装置を解析対象とする。実験および解析条件は表 1 に示す。

3-2 実験

ストップバルブを開き、電磁比例弁を閉じ、アキュムレータにポンプからの作動油を貯める。次に電磁比例弁を開き、直管を流れる流体の速度が定常になることを確認した後、電磁比例弁を急閉鎖する。このときの圧力測定箇所 P1 で圧力変動を計測する。

表 1 実験および解析条件

実験パラメータ	数値
配管長さ [m]	5.57
配管径 [mm]	6.4
体積弾性係数 [GPa]	1.95
アキュムレータ圧力 [MPa]	1.867
初期速度 [m/sec]	0.58

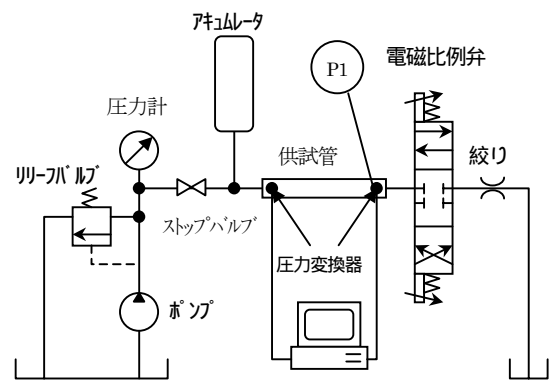


図 6 実験装置図

3-2 OCS 解析

実験装置と同じ回路を作図して解析してもよいが、解析内容から、タンクからポンプに流れる解析モデルを作る。アキュムレータ圧力をタンク圧力、電磁比例弁をポンプのオン・オフ制御に置換えることで図 7 の簡単な油圧回路に実験装置を表現できる。その後、下記解析手順に従う。

パラメータ設定（図 7）

ポンプ、タンク、配管をマウスでクリックすると、パラメータ設定画面が表示されるので、表 1 の配管径・長さ、アキュムレータ圧力（タンク圧力）や初期速度（ポンプ流量）の値を設定する。

入力項目設定

ここでは四則演算器を複数用いて、実験の電磁比例弁の下流端閉鎖信号と同じ信号を作成し、ポンプのオン・オフ信号としている。四則演算器への入力信号は図 8 が標準装備されている。

出力項目設定（図 9）

ポンプをクリックし、実験の圧力計測箇所 P1 に相当する出力項目にチェックを入れる。これにより後でグラフとデータが出力される。

条件設定

流体の温度，物性や計算条件を図 10 で設定する．
解析

解析実行すれば，自動的に解析が実行される．

グラフ表示

出力項目設定で設定した出力項目がグラフで表示される．同時に CSV 形式のデータが作成される．ここでは，CSV 形式のデータを利用したグラフを図 11 に示す．

このように OCS 解析は，煩わしい数式モデルを組み立てる必要がなく，設計者は，従来の設計業務と変わらない状態で容易に解析まで実施することができる．

3-3 解析評価

どの程度の解析精度や信頼性があるのかを，実験と管路解析では実績のある特性曲線法やボンドグラフ法と比較して評価する．特性曲線法やボンドグラフ法は既に論文などで明らかなので，ここではこれから解析手法についての説明は省く．⁽¹⁾

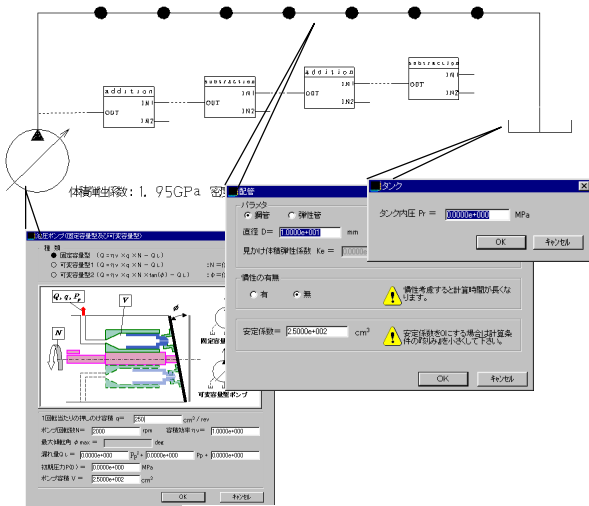


図 7 パラメータ設定

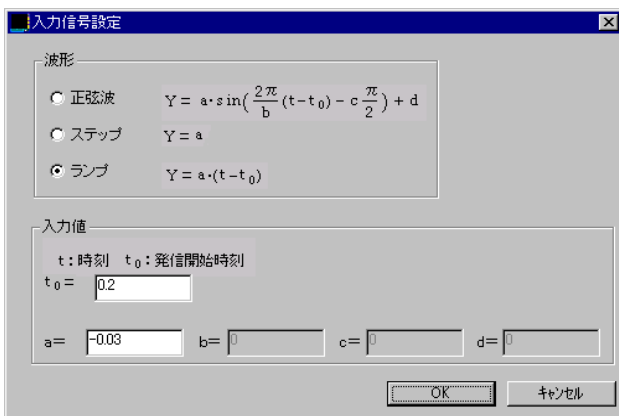


図 8 入力信号

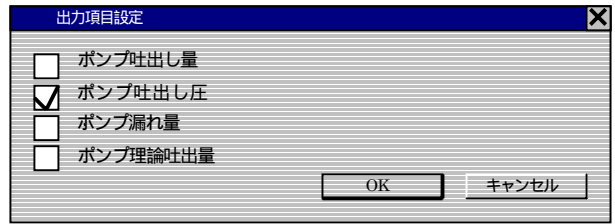


図 9 出力項目



図 10 物性値のデフォルト値

3-4 結果の比較

図 11 に実験および解析の結果を示す．OCS による解析結果は，実験結果や特性曲線法，ボンドグラフ法の解析結果とよく一致しており，OCS で直管内の動特性解析を精度よく，しかも簡単に行うことができる．

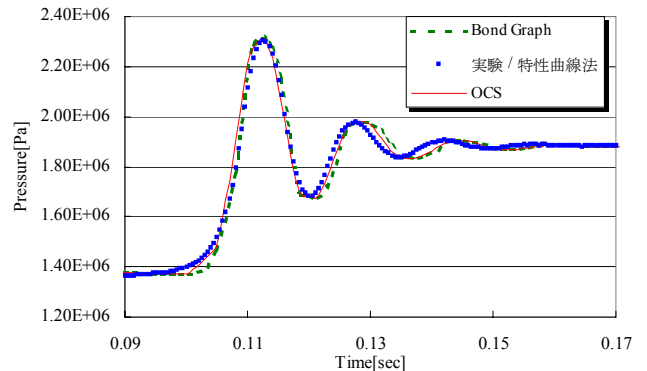


図 11 解析結果

3-5 所要時間

表 2 に実験および解析に要する時間を示す．実験では，部品納期や実験準備時間が大きなロスとなっていることがわかる．また，特性曲線法やボンドグラフ法の解析では，方程式を求めるまでの解析準備に時間を要している．OCS は油圧シンボルや配管に数学モデルが組み込まれているため，油圧回路図を作成するだけで自動的に解析式が導かれ瞬時に動特性解析を得ることができる．OCS を使用すれば，設計者は解析式を立てる必要はなく，手順に従って回路図の中の油圧シンボルに設計仕様値を入力するだけで油圧回路の動特現象の予測確認ができ，最適な油圧回路設計を設計段階で十分絞り込むことが可能

となる．このことは，結果として試験・実験の工数や試作数の低減に大きく貢献するものと確信する．

表 2 解析所要時間

実験	発注～実験準備	2(week)
	実験	8(h)
	グラフ作成	0.5(h)
	Total 時間	345(h)
ボンドグラフ 特性曲線法	モデル作成～解析式構築	3(day)
	解析	3(min)
	グラフ作成	0.5(h)
	Total 時間	24.5(h)
OCS	回路図作成～パラメータ値入力	1(h)
	解析	3(min)
	グラフ作成	0.5(h)
	Total 時間	1.5(h)

4. 解析事例

直管で，動特性解析の信頼性は理解して頂けたと思う．では実際の設計業務でどの程度まで解析可能なのかをここで実例を挙げて説明する．

4-1 油圧パイロットリモコン弁による方向切換弁作動遅れ解析

図 12 は実験装置の油圧回路図，図 13 は OCS の油圧回路解析図である．入力信号以外は全く同じであることがわかる．図 14 に方向切換弁の作動遅れを P1 の圧力上昇で見たものであるが，0.1 秒の作動遅れの実験結果と解析はよく一致している．また，表 3 から明らかなように，実験装置が大掛かりになればなるほど，実験準備に時間を要するため，実験と OCS 解析の所用時間時間にさらに大きな差が出てくる．また，温度条件が加味される低温（高温）試験では，さらに所用時間に差が出ることは言うまでもない．

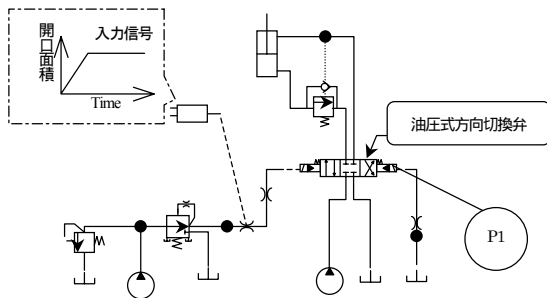


図 12 実験装置の回路図

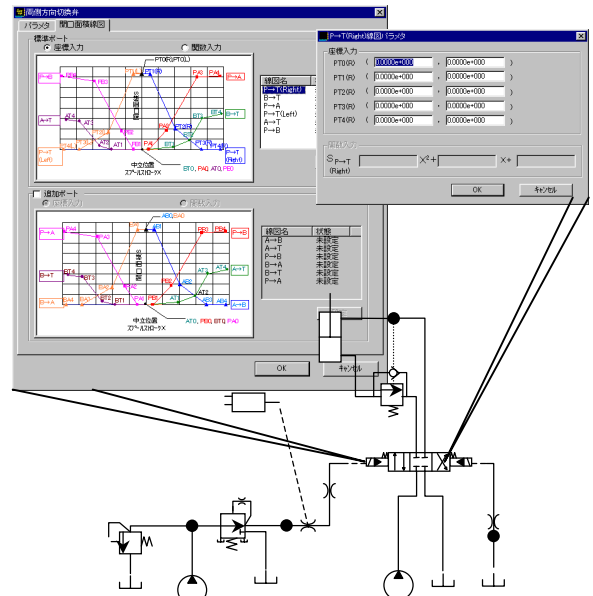


図 13 OCS 回路図

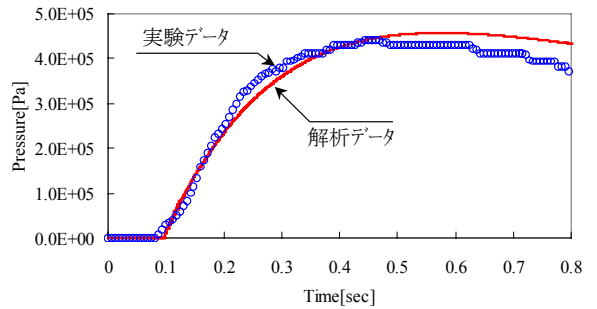


図 14 P1

表 3 解析所要時間

実験	発注～実験準備	2(month)
	実験	8(h)
	グラフ作成	0.5(h)
	Total 時間	345(h)
OCS	回路図作成～パラメータ値入力	1(day)
	解析	3(min)
	グラフ作成	0.5(h)
	Total 時間	9(h)

4-2 最近の適用事例

最近，設計からの依頼により解析を行った実施例を適用モデルだけではあるが紹介する．

異なった管サイズ並列回路（熱交換器）

図 15 は異なった管径，管長さや絞りなど入った並列回路であるが，どの回路も同流量にしたいとき，実際，計算は面倒である．しかし，OCS は，パラメータ値を換えて，連続して解析ができるので，容易に求めることができる．

プレス機回路

図 16 はプレス機の回路の一例であるが、OCS では油圧回路図がそのまま解析モデルとなり、回路が持つ特性を現象（グラフ）として確認することができ、実験との対比がしやすいので、OCS は教育用としても最適である。ちなみに、メータイン回路、メータアウト回路、ブリードオフ回路（図 17）なども容易に違いを確認することができる。

油圧クレーン回路

図 18 はクレーンの油圧回路の一部を抜粋したものであるが、方向切換弁 1, 2 の開き加減による各シリンダーの動きや、旋回モータの慣性による影響などが設計段階で予測できる。

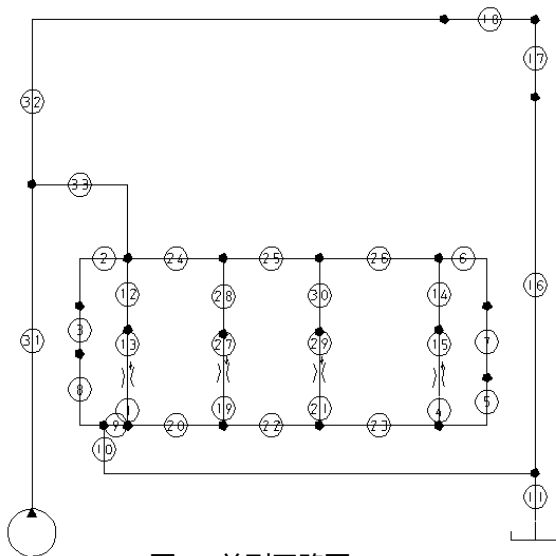


図 15 並列回路図

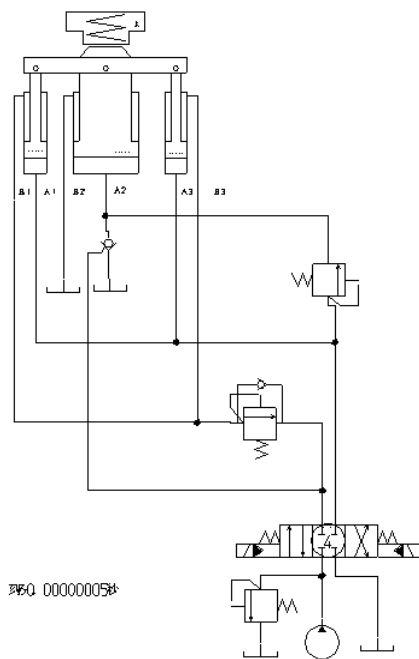


図 16 プレス機回路図

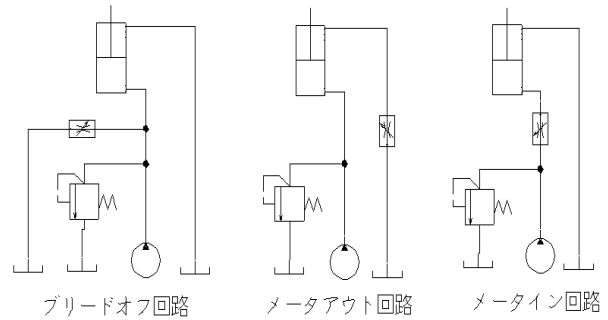


図 17 教材回路図

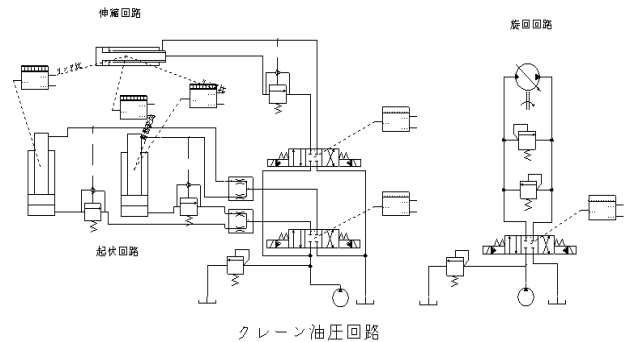


図 18 クレーン油圧回路図

5. おわりに

JIS 油圧シンボルレベル標準ライブラリーだけでは足りない場合があるため、追加ライブラリーを作成中である。またユーザー独自のものについてはユーザー個別対応ライブラリーで対応できるようにしている。今後は、空気圧や電気などの系統図関係の設計ソフトを開発していきたいと考えている。

< 参考文献 >

- (1) 肥後、山本、幸田、田中：油圧配管内圧力変動特性のボンドグラフ解析、日本油空圧学会論文集、30-4,15-21,(1999.7)

〔 著 者 紹 介 〕

やまもと こうじ
山本 耕治君



1952年9月16日生
1975年愛媛大学工学部冶金学科卒業、同年、㈱タダノ入社、1999年九州工業大学情報工学研究課博士後期課程修了、現在に至る。油圧式クレーンの構造、材料、振動・騒音、油圧に関する試験・実験・解析に従事。日本機械学会、日本油空圧学会、日本材料学会、自動車技術会の会員。博士（情報工学）