岡田 有策 (慶應大・理工)

*Multi-variable control when the operator changes over**the state of systems**Y. Okada (Keio Univ. Fac. of Sci. & Tec.)*

序) 原子力発電所などの大規模システムの制御は自動化されたものが多く手動制御に関する運転員の中央操作室での経験は少なくなっている。しかしながら、自動制御器が不調になる可能性を考えると難しいとされる作業の制御特性を明らかにすることは人間工学的な問題の一つであろう。本研究では、加圧水型原子力発電所の給水ライン切替えに伴う水位制御を例にとり、次のような性質を有する場合の作業特性を探ることを目的とした。その性質の第一は操作の対象が複数あること、第二は各作業の目的達成に対して優先性が存在することである。ここではある作業の実行が多変数制御の前提になっている、という意味で「優先性」という言葉を用いている。

実験) 対象とする作業は蒸気発生器(SG)の水位を安定させながら給水ラインを主給水ラインから主給水ラインへ切替えることである。主給水ライン流量制御器の状態を流量増と流量固定、主給水ライン流量制御器を流量減と流量固定に設定し、各々流量固定になっている時をOFF状態、それ以外をON状態と呼ぶ。各操作器具をON状態にした時の単位時間当りの流量の変化率を $G[t]/[hour]^2$ とした(0.20, 2.00)。動特性を図1に示す。主給水ラインは初め閉じられているので、初期値は0である。一方、主給水ラインは作業開始時点で既に開いているので、初期値を定める必要がある。これを $F_0[t]/[h]$ 、1とした。この大きさは実際の値50(t/h)に相当する。図中の動特性は次のように設定した。

$$f_{11}(s) = \frac{K_1}{s(T_1s+1)}, f_{12}(s) = \frac{K_2}{s(T_2s+1)}$$

$$f_2(s) = \frac{K_3}{s(T_3s+1)}$$

$$g_1(s) = \frac{K_0}{s}, g_2(s) = \frac{K_0}{s} + F_0$$

$$K_0=0.2, K_1=1.0, K_2=0.25, K_3=0.66$$

$$(T_1, T_2) = (4.0, 0.3), (6.0, 0.5), (8.0, 0.8), (15.0, 1.0), (20.0, 2.0), (30.0, 3.0)(\text{sec})$$

$$T_3 = 4, 6, 8, 15, 20, 30(\text{sec})$$

図1 システムの動特性

但し、この動特性は各パラメータの変動の様子を大まかに似せたのみでプロセスのモデルとしての精緻さはない。また、便宜上SG水位の基準線の値を0、水位を基準線に対する相対値として扱い、評価は基準線に対する平均二乗誤差(偏差量D)によって行った。制限時間は60秒、被験者は、22才から25才の十分作業に熟練した男子6名、繰返し5回で行った。実験結果) 結果を見ると、 T_3 が T_1, T_2 の組み合わせのどちらか一方が大きければ偏差量は大きくなりやすく、さらにGが0.20ではよりその傾向が強いことが判った。そこで、最も安定している制御状態における操作方法と不安

定な場合のそれとを比較してみた所、制御状態が良好なほど操作器具をON/OFFにホールドしている時間（状態持続時間）のばらつきが小さく、その操作器具の状態を表すタイミングチャートが図2のように一定のリズムを刻んでいたことである。一方、制御状態が悪化すると各状態持続時間のばらつきが大きくなり、時に極端に大きな状態持続時間が記録されている場合もあった。このように操作器具の各状態持続時間を一定に保ちながら操作器具の状態を切り替えていく操作を「リズムカルな操作」と呼ぶ。

図2 操作器具のタイミングチャート

リズムカルな操作の特性）本実験で言う制御の安定は、制御量の望ましい変化に必要な操作器具の状態持続時間を正確に認識し、それを誤差なく再現することになる。このどちらか一方を誤ると制御量は人間が思い描いた通りには変化しない。初めに、望まれる制御量の動きに必要な操作器具のON状態持続時間の算出の精度に関する実験を行う。しかしながら、これは人間の感覚に頼るものなので次のような方法を用いた。予め画面表示されたON状態持続時間分操作器具をON状態に維持した場合の制御量の変化を切替え時点から10秒間に渡って作業者は予測しマスにより行う。この実験を実験条件やON状態持続時間を固定させたままで連続3回試行したところ、全ての実験条件下で試行1回目は実際値より多少前後にずれるものの、2回目以降はほぼ実際値と等しくなることが判った。従って、実行されるON状態持続時間が一定であるほど（操作方法がリズムカルであるほど）、予測の精度が高まることが判る。次に、リズムカルな操作を用いたときのON状態持続時間の実行精度を、CRT画

面上に呈示された時間と同じ長さで被験者が判断した操作器具のON状態持続時間を計測することにより調べた。その結果、実行時間の分布は、平均が目標時間、標準偏差が目標時間の約8%~12%の分布になっていた。

図3 実行時間の分布

一方、人間の制御動作を観察してみると、制御状態が不安定になっている場合や制限時間が短いなどの厳しい実験条件下でもない限り、制御量の勾配をある程度以上大きくしない[画面上で約13.13(mm/sec)]ことが判った。従って、上述したような特殊な状態か入力ゲインが非常に小さくない限り、実際の操作における一回当たりのON状態持続時間は大きなものにはならないと考えられる。このことを併せて考えれば、リズムカルな操作を用いた場合の実際の制御では、作業者が頭の中で描いている時間と実行された時間とは、ほぼ同じであると考えてよいだろう。

まとめ）リズムカルな操作を用いた場合には上述したような2つの特徴を有するため、制御量の変化の予測の精度が高まり、制御状態が安定するものと考えられる。従ってこのリズムカルな操作をすべての作業条件に適用することができれば、制御状態をより安定にさせることができると想像される。しかしながら、実際の操作ではこういった操作が幾つも行われ操作(切替え)を決定する段階ではそれまでの入力による影響(遅れや干渉)さらに外乱を考慮にいれなくてはならない。そこで、実用面を考慮したリズムカルな操作の導入を考える必要が出てくる。