

第3章 パイロットの支援と人間中心の自動化

3.1 はじめに

前章において実装した SAA は、 V_1 付近における時間的な制約性から人間の許可なく自動化システム側に操縦の権限を移行するものである。これは人間中心の自動化の理念として挙げられている最終的な権限 (Final Responsibility) を人間から奪い去ることになる。人間中心の自動化として認められる自動化とはどのようなものであろうか。Table 3.1 に示す Sheridan による自動化レベル [17, 92] が、人間と自動化システムの間の権限所在の尺度を与える。人間中心の自動化である人間が最終的なシステムの権限を持つ自動化レベルは 5 を上限としたものになる。第 2 章において実装された SAA は、正常運行時は全ての操作を人間が行うレベル 0 の自動化レベルであるが、エンジン故障が発生した場合、自動化システムが全てを選択し、実行するので一時的にレベル 10 の自動化レベルを有することになる。第 2 章で述べられた実験において、人間の許可なく権限移行する SAA に対する依存感の喪失や、インタビューでの SAA に対する不信感の声が聞かれた。ここで 2 つの方策を考えることができる。

3.1.1 人間中心の自動化原理の拡張

人間中心の自動化概念においては、最終的な意思決定権を常に人間が有するべきであるとしているが、本論で扱っているような V_1 付近のエンジン故障時における離陸可否の判断は強い時間的制約下にあり、正しい意思決定そのものが困難である。そのような状況においてさえ、人間をシステムの安全と権限の最高責任者とすることは、事故が発生した場合の犯人探しに体裁のよい建前を与えることになりかねない。この場合、ミスを犯した人間は最高責任者として糾弾されかねない。しかし人間の正しい意思決定が困難である、という状況を素直に認めた場合、むしろ困難な状況に陥っている人間を支援することが人間中心なのではないか、と考えられる。もし人間の許可なく動作した自動化システムが誤作動によって損失をもたらした場合、その自動化システムを提供した側にも責任が言及される可能性がでてくる。身近な例では 1995 年から我が国で施行された

Table 3.1: 自動化レベル 10 段階 [17]

-
- (1) コンピュータの支援なしに全てを人間が行う
 - (2) コンピュータは全ての選択肢を提示する。人間はその内の一つを選択して実行する
 - (3) コンピュータは可能な選択肢を全て人間に提示するとともに、その中の一つを選んで提案する。それを実行するか否かは人間が決定する
 - (4) コンピュータは可能な選択肢の中から一つを選び、それを人間に提案する。それを実行するか否かは人間が決定する
 - (5) コンピュータは一つの案を人間に提示する。人間が了承すればコンピュータはそれを実行する
 - (6) コンピュータは一つの案を人間に提示する。人間が一定時間内に実行中止を指令しない限り、コンピュータはその案を実行する
 - (7) コンピュータが全てを行い、何を実行したかを人間に報告する
 - (8) コンピュータが全てを行う。人間に問われれば、何を実行したかを人間に報告する
 - (9) コンピュータが全てを行う。何を実行したかを人間に報告するのは、その必要性をコンピュータが認めたときに限られる
 - (10) コンピュータが全てを決定し、実行する
-

PL (Product Liability) 法があり、製造者側にも責任が要求される法的な整備がなされつつある。真に人間を尊重することを目指す人間中心の自動化を考える場合、システムの使用者は、訓練を受けているとはいえ同じ過ちを犯す人間であることを前提として、保護し支援することが意識されるべきである。高橋 [93] は、人間の特性を Table 3.2 の 8 篇条にまとめている。この 8 篇条は、システムの設計において人間の持つ脆弱な性質を忘れてはいけない、という訓戒を与えるものである。そこで Inagaki [57, 51, 9] が提案している「人間の能力を超える事態においては、機械は許可がなくとも自律的に人間を助ける自動化を人間中心の自動化として認めてよいのではないか」とする理念を是とした立場を考えてみる。ただし第 2 章で述べられた SAA のように、Automation Surprise を人間に起こさせるような状況適応的自動化は人間にとて受け入れがたいものである。いかに人間には不可能で機械には可能である状況が出現したとしても、人間の特性と尊厳を無視した自動化を行っては、システムの最高位に位置付けられる人間の立場は傷つけられ、人間と機械の間に信頼関係は築けず、そのシステムは人間にとてありがたくない存在となってしまう。そ

Table 3.2: 人間の特性 8 か条 [93]

第1条	人間は気まぐれである
第2条	人間は怠け者である
第3条	人間は不注意である
第4条	人間は根気がない
第5条	人間は単調を嫌う
第6条	人間はのろまである
第7条	人間は論理的思考力が弱い
第8条	人間は何をするかわからない

ここで状況適応的な自動化が、人間中心の自動化として受け入れられるべく人間中心の自動化概念を以下のように拡張した立場を考える。

拡張された人間中心の自動化原理

人間に最終的な権限を持たせる。ただし人間が対応できない状況では、人間の許可を得ずとも自律的に人間を支援する、人間の特性と尊厳に配慮した自動化を認める

第2章で述べられた実験で実装されたSAAは、人間には対応が困難な状況において、人間を支援するが、その支援のあり方は、被験者の Automation Surprise や SAA に対する不信感の発生などに示されるように、決して人間の特性と尊厳に配慮したものではなかった。そこで SAA を上記の拡張した人間中心の自動化概念を遵守することを考える。

人間の特性と尊厳に配慮した自動化とはいかなるものであろうか。人間を支援する際、人間に横暴と感じられるような支援をする自動化であってはならない。また人間が信頼し、安心して任務を任せることができる、人間の心情に配慮した自動化であるべきである。そこで人間の信頼を得るために自動化システムに求められる要件を考える。

Billingsによる人間中心の自動化定義^[8]によれば、その要件の一つとして自動化システムの様子を人間がモニターできるようになることを挙げている。また山岸^[42]によれば、人間の信頼には、能力への信頼と意図への信頼との二つの側面があるとしている。人間がいかに SAA の緊急時の能力を評価しようとも、現在何を行っているのか、自動化システムの意図が不明確である場合、

信頼を築くことができなくなる。

現在のグラス・コックピット機においては実行中の自動化モードが PFD 上に表示されるようになっている。しかしながらその表示はパイロットがモード認識 [29] する上で十分なものではなく、高ワークロード下ではモードの変化を見落とし、自動化システムが何を行おうとしているのかが分からなくなり Automation Surprise の発生を招く。また単なる表示の問題に留まらず、なぜそのモードを選択したのか理由が明示されないことも Automation Surprise の引き金となりうる。

本研究において問題としている離陸時において、特に V_1 付近における意思決定の時間的制約から、事前に人間に権限移行の許可を求める自動化レベル 5 や 6 相当の自動化を用いることはできない。一方で自動化レベル 7 の自動化として、自動化システムが何を実行したのかを報告する自動化は、モード認識の阻害や Automation Surprise を引き起こす可能性があることが報告されている [83]。そこで自動化システムが現在何を行っているのかを陽に人間に伝えることによって、自動化システムの意図を透過なものにし、人間の信頼を得ることを考える。具体的には本 SAA では離陸継続を行う機能を有していることから、パイロットに離陸継続の意図を伝えることを試みる。これは Inagaki [83] が提案している、「コンピュータが全てを実行する。ただし、実行する前に、これから何を実行するかを人間に報告する」レベル 6.5 の自動化レベルに近い自動化レベルを有することになる。

以上のような観点から SAA による介入が行われた場合に、人間に何も伝えないと、SAA が介入していることを人間に伝えるメッセージを提示するものとで、認知工学的実験に基づいて SAA の許容性に関する比較分析を行い、Automation Surprise を緩和する方策を議論する。

3.1.2 パイロットの意思決定支援

離陸安全を高めるもう一つの方策は、状況適応的な自動化として、離陸時に一時的にせよパイロットを制御ループから外すことが現実には受け入れられざるものである場合、従来の人間中心の自動化原理を遵守し、人間を操縦の主体として保ち続ける中で離陸安全を高めることを考える。この場合、人間がシステム権限の主体として認められる自動化レベル 5 を上限とした支援が可能である。

Boeing 747-400 や 777 型機などでは、エンジン故障が発生すると EICAS 画面に「ENG FAIL」というメッセージを表示する。これはエンジンが故障していることを明示的にパイロットに伝え、パイロットの状況認識 (SA) [67] を支援している。グラス・コックピット機以前の旅客機では、エンジン故障が発生した場合、Yawing の発生によって異常を認知し (SA Level 1)、エンジン計器

の変動や副操縦士のコールによって異常がエンジン故障であることを同定していた (SA Level 2)。エンジン計器や機体の状態からエンジン故障を同定するのはパイロットの持つ旅客機に対する概念モデル (メンタル・モデル; Mental Model) [94] を参照することによる。適正な概念モデルを持つパイロットは異常の兆候から素早くエンジン故障を同定できる。グラス・コックピット機になると、コンピュータが機体の各種の情報を統合して、CRT や液晶画面に「ENG FAIL」としてエンジン故障を陽に示すようになった。しかしこンピュータが支援するのはここまでで、パイロットはエンジン故障の情報をもとに、機体はこれからどうなるのかを予想し (SA Level 3)，意思決定を行わなければならない。異常が発生してから意思決定を行うまでの時間が短い V_1 付近のエンジン故障に対しては、SA Level 2 までを支援されていても、その後の機体の状態予測と意思決定を行うことは困難である。加えてパイロットは機体を滑走路から逸脱しないように進路を保持しなければならず、高ワークロード下に曝されていることで、訓練を受けたパイロットでさえ速度などへの状況認識が失われ、人的エラーを犯してしまうことはこれまで述べられた通りである。

Inagaki の数理モデル [64, 65] によれば、Phase 4 におけるエンジン故障に対しては人間よりも自動化システムの方が期待損失が少ないとしている。ところがもし人が V_1 を過ぎての RTO 操作を行ってはいけないことを誤りなく認識できれば、人が操縦を行っても Phase 4 のエンジン故障に対して自動化システムと同等の期待損失になりうることを示した。そこで Inagaki [64, 65] は人の離陸の可否の意思決定を支援することを提案している。この場合、人に最終的な意思決定権を残すべきとする従来の人間中心の自動化原理を遵守したものとなる。そこで Inagaki の数理モデルの結果をもとに、Phase 2, 3 においてもエンジン故障に対する意思決定を支援することにより離陸安全を高めることを考える。具体的には次のような意思決定支援を考える。

Phase 3 においてエンジン故障が発生した場合、人が RTO 操作を行ったとしても操作開始は V_1 以前には間に合わないので、離陸継続の意思決定を支援する。Phase 2 でエンジン故障が発生した場合は RTO しなければならないので、RTO の意思決定を支援するが、エンジン故障発生から 1 秒以上経過後に RTO した場合、たとえ機速が V_1 以前であったとしても、もはや RTO を行つてもオーバーランしてしまう。これは人が意思決定を行っている間にも機体は正常なエンジンで加速を続けるため、滑走路の残り長さが短くなるためである。もし RTO の意思決定支援を行つても、人が RTO を行わず、機体の状態がもはや RTO をするには遅すぎる状況になった場合は、離陸継続の意思決定を支援する。Phase 4 でのエンジン故障に対しては、離陸継続の意思決定を支援することで、人がもはや RTO を行えないことを認識できるようにする。Phase 1 でのエンジン故障に対しては判断時間に余裕があるので、意思決定支援は必要ないと考えられる。

本章の目的の一つとして、以上の動作論理を持つ意思決定支援システムを構築し、実際的な評価を行った結果を述べる。

3.2 実験装置

3.2.1 実験装置の変更点

本実験を行うに当たり、2章において使用された実験装置の表示部分に変更を施した。

自動化システムの意図の表示

コントロール・パネル上にSAAの作動状況を人間に報告する機能を付加する。具体的にはコントロール・パネル上部の視界画面上部に「GOING」というメッセージを提示する (Fig. 3.1)。こ

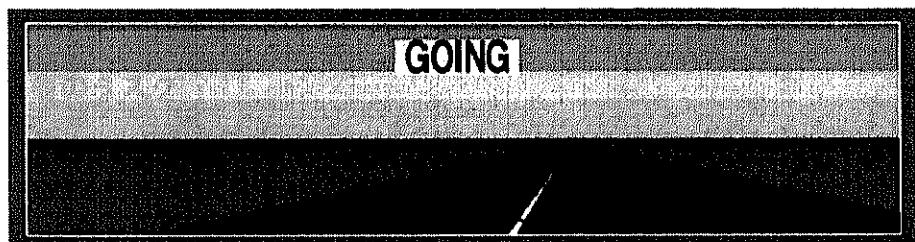


Fig. 3.1: 自動化システムの意図の表示

のメッセージはSAAが離陸操作に介入し、現在離陸継続操作を自動化システムが行っていることを人間に伝えるものである。

意思決定支援情報の提示

意思決定支援情報は次のようにして提示される。Phase 3においてエンジン故障が発生した場合、「GO」メッセージを視界画面右下部に提示する (Fig.3.2)。Phase 2でエンジン故障が発生した場合は、「ABORT」メッセージを提示する (Fig.3.3)。もし「ABORT」メッセージ提示後、1秒経過後も人間がRTO操作を行わなかった場合、それまで提示されていた「ABORT」メッセージは「GO」のメッセージに切り替わる。

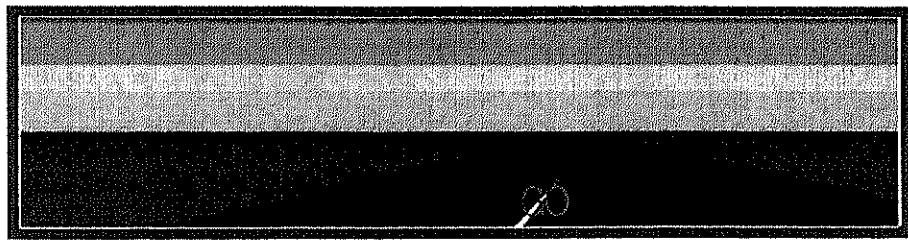


Fig. 3.2: 離陸継続の意思決定支援情報の提示

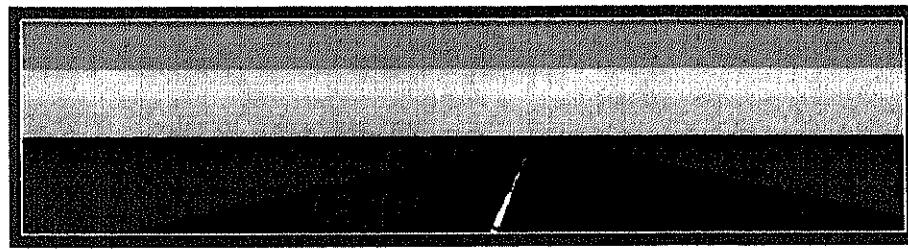


Fig. 3.3: RTO の意思決定支援情報の提示

3.2.2 被験者のタスク

第2章で述べられた実験と同様、被験者のタスクは航空機の離陸滑走において、状況に応じた安全な判断・操作を行うことである。即ち離陸滑走中に横風を受け Yawing が生じた場合、被験者はコントロール・スティックを用いて補正操作を行わなければならない。また、エンジンが故障した場合には RTO／離陸継続の判断・操作を行う。

3.3 実験の方法

3.3.1 実験計画

本章における実験では、意思決定支援情報の有無と2種類の制御モード（手動（Manual: M）とSAA）のそれぞれの組み合わせにおける離陸安全と人間の心的影響を主に比較評価する。実験は以下の4要因で計画した。

1. エンジン故障の発生時刻 (Phase)

前章と同じく Phase 2 と 3 における異常対処に着目する。各 Phase の時間領域も前章実験と同様、 V_1 到達時刻を T_{V_1} としたとき、 $T_{V_1} - 1.68$ 秒から $T_{V_1} - 0.84$ 秒の間を Phase 2、 $T_{V_1} - 0.84$ 秒から T_{V_1} の間を Phase 3 として定義する。

2. 制御モード (Control Mode)

M モードと SAA モードの 2 種類である。

3. メッセージの種類 (Message Type)

エンジンが故障したことを「ENG FAIL」という Caution で伝えるものを従来 (Conventional: C) 型とする。エンジン故障の Caution を提示すると同時に、人間の正しい意思決定を支援する [64, 65] ために「GO/ABORT」のメッセージを画面上に提示する機能を追加した G/A 型の 2 種類で実験を行う。また SAA モード下 G/A 型インターフェース実験においては自動化システムの意図を「GOING」として被験者に伝える。

4. モード体験順序 (Order of Presentation)

被験者の内、半分の人数は先に M モードで実験を行い、次に SAA モードの実験を行う (M→SAA)。残り半分の人数は先に SAA モードで実験を行い、次に M モードで実験を行う (SAA→M)。

メッセージの種類とモード体験順序は被験者間要因、Phase と制御モードは被験者内要因として実験を行った。

3.3.2 被験者

実験には工学系の学部生および大学院生 24 名が被験者として参加した。各被験者には報酬として 1,500 円を実験終了後に支払った。また実験において 1. RTO を成功させる、2. 安全離陸を行う、3. Yawing を巧みに制御する、これらの点について高い成績を挙げた者には、2 章で述べられた実験と同様、成績に応じて 200 円、500 円のボーナスを支払った。実験に参加した全ての被験者は、本実験で使用するシミュレータを操作するのは初めてであった。

3.3.3 手順

実験は一人の被験者につき約 2 時間を要した。実験の実施手順を以下に示す。

1. 教示

実験の目的、シミュレータの使用方法、コントロール・パネルの見方、離陸タスク、謝金について書面で説明する。G/A 型インターフェース実験に割り当てられた被験者は更に G/A 型インターフェースの使用法、及び SAA が介入中は「GOING」というメッセージを出すことを記

した書面を読ませた。

2. トレーニング

被験者は、連続して9回以上間違いなく正しい操縦が行えるようになるまでトレーニングを行った。SAAモードの実験前にはSAAの機能について書面で説明し、SAAモードで計5回のトレーニングを行った。

3. データ収集

被験者に割り当てたモード体験順序に応じて、いずれかのモードで30回の試行を実施した。エンジン故障はPhase 2, 3を含めてランダムに発生する。

4. インタビュー

実験終了後に、被験者の異常診断やインターフェース、自動化システムへの心象を分析するためにインタビューを行う。

3.3.4 評価指標

実験では次のような評価指標に対してデータを収集した。

1. エンジン故障発生時刻
2. 発生したエンジン故障に対する対処
3. RTO操作を開始するまでに要する時間
4. 機軸とセンター・ラインとの2乗平均誤差 (RMSE)
5. 試行の正否
6. 被験者自身の判断・操作に対する自信 (Self-Confidence: SC)
7. SAAに対する信頼感 (Trust: T)
8. SAAに対する依存感 (Reliance: R)

3.4 実験結果と考察

3.4.1 意思決定の正確さ

Mモードにおいて、エンジン故障が発生した場合の、被験者が離陸中断 (NOGO) を選択した割合について分散分析を試みた。その結果、Message TypeとPhaseの間に高度に有意な交互作用 ($F(1, 22) = 164.923, p < 0.00001$) が認められた (Fig.3.4)。Sheffe検定の結果、C型メッセージ

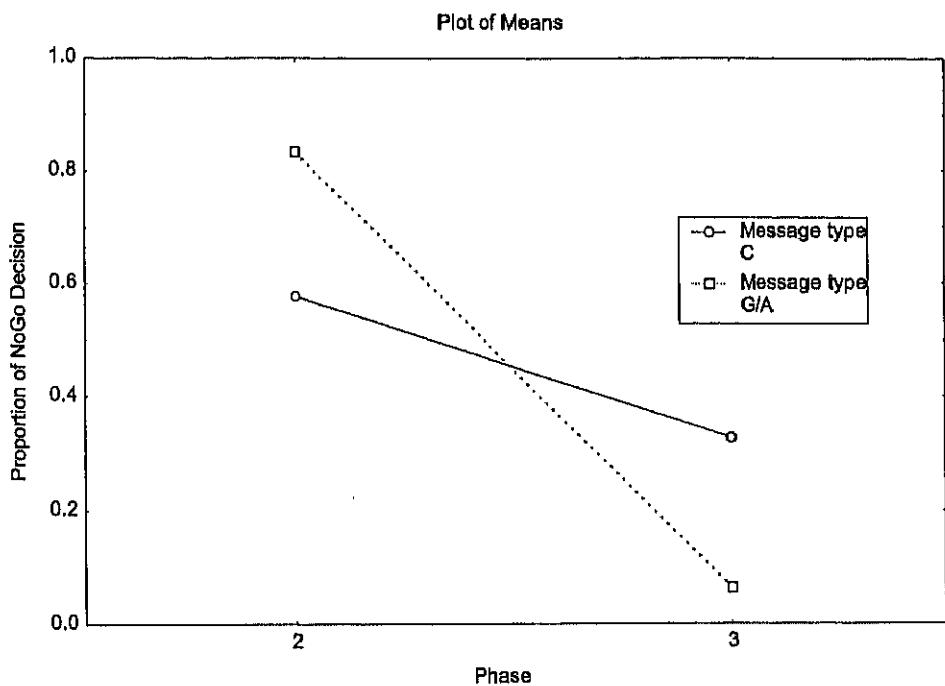


Fig. 3.4: NOGO 選択率（フェーズとメッセージの種類の交互作用）

に比べて G/A 型メッセージは、本来 RTO すべき Phase 2 においてエンジン故障が発生した場合に、被験者の RTO の意思決定を支援する効果があることが確かめられた。また同様に、G/A 型メッセージは離陸継続すべき Phase 3 でのエンジン故障に対して離陸継続の意思決定を支援するために、C 型に比べ誤った判断である NOGO の判断率が低くなることが分かった。以上の結果から「GO/ABORT」メッセージが被験者の正しい判断に寄与することが確かめられた。離陸時のエンジン故障に対する判断・操作を定期的に教習・訓練を行っているパイロットにおいてさえ、緊急時におけるワークロードの高さ、判断時間の制約、得られる情報の確信度の少なさが判断力を喪失させ、事故に至った例が多く見られる。従って例えば単にプロシージャ・マニュアルを改訂するだけではパイロットが正しい判断を行う上で不十分である。 V_1 付近の異常に対しては判断時間が極めて短く、状況認識・判断を十分に行うことが困難であることから、本実験で使用されたような具体的な行動ガイダンスを示すことが、パイロットにおいても有効であると考えられる。

3.4.2 反応時間

実験で設定されたような速度でエンジン故障が発生した場合、異常を認知した後、素早く行動を起こさなければ適切な対処が行えない。C 型、G/A 型のメッセージ提示から RTO 操作開始ま

でに被験者が要した時間を比較してみる。なお、本シミュレータにおいてはエンジン故障発生と同時に「ENG FAIL」、「GO/ABORT」が提示されるようになっている。C型及びG/A型の反応時間の平均値は、それぞれ0.85、0.86秒であり、分散分析では両者に有意差はみられなかった($F(1,413) = .01, p < 0.92$) (Fig.3.5)。実験後のインタビューでは被験者は、C型インターフェース

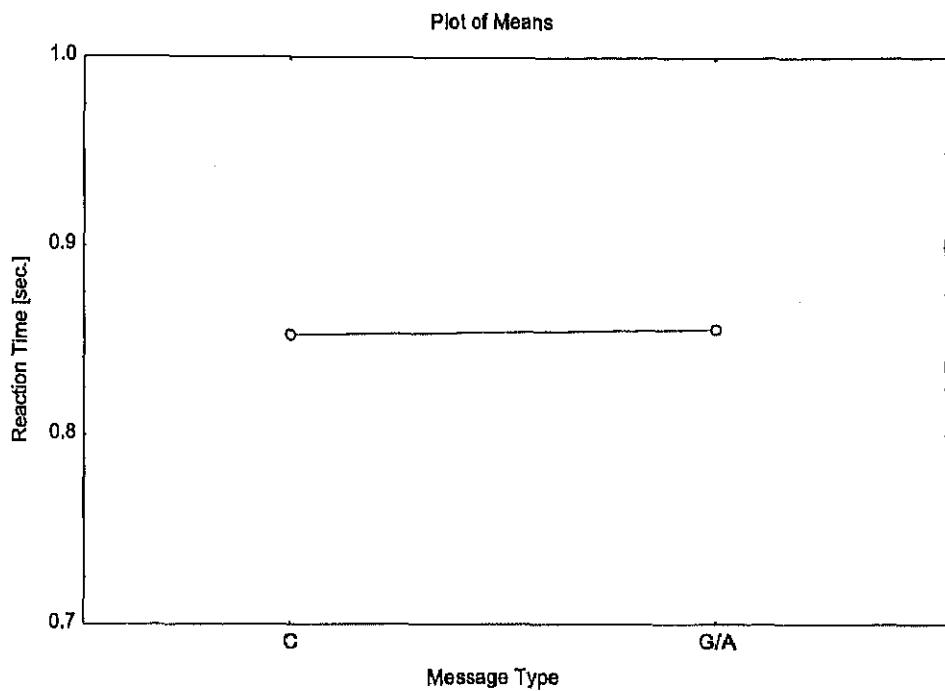


Fig. 3.5: エンジン故障発生から RTO 開始までに要した時間

では「計器の変動やエンジン故障警報の表示に反応して RTO した」、G/A型インターフェースでは「ABORT メッセージが点灯したので RTO した」と発言する者が多かった。このことから被験者は RTO を行なうことがほぼ自動化された応答としているため両者に明確な差は検出されなかつたものと考えられる。しかし正しい意思決定を行うのに十分な時間がないことから、前項結果のように C型では意思決定の正確さが G/A型に比べ低下する。

3.4.3 離陸の安全性

メッセージの種類や制御モードの違いによる離陸の安全性への影響を調べる。各 Phase における試行中、安全離陸を達成できた割合を安全離陸達成率として、安全離陸への各要因の寄与を評価した。ただし Phase 2 におけるエンジン故障発生に対しては力学的に安全離陸条件を達成する離陸を行うことはほとんど不可能である。ただし Phase 3 に極めて近い Phase 2 のエンジン故障

であれば安全離陸条件を達成できるが、ここでは Phase 3 に絞って分散分析を行った。安全離陸達成率の平均値を Fig.3.6 に示す。分散分析の結果、メッセージ・タイプの違いに有意な差が認められた ($F(1, 22) = 11.09, p < 0.005$)。

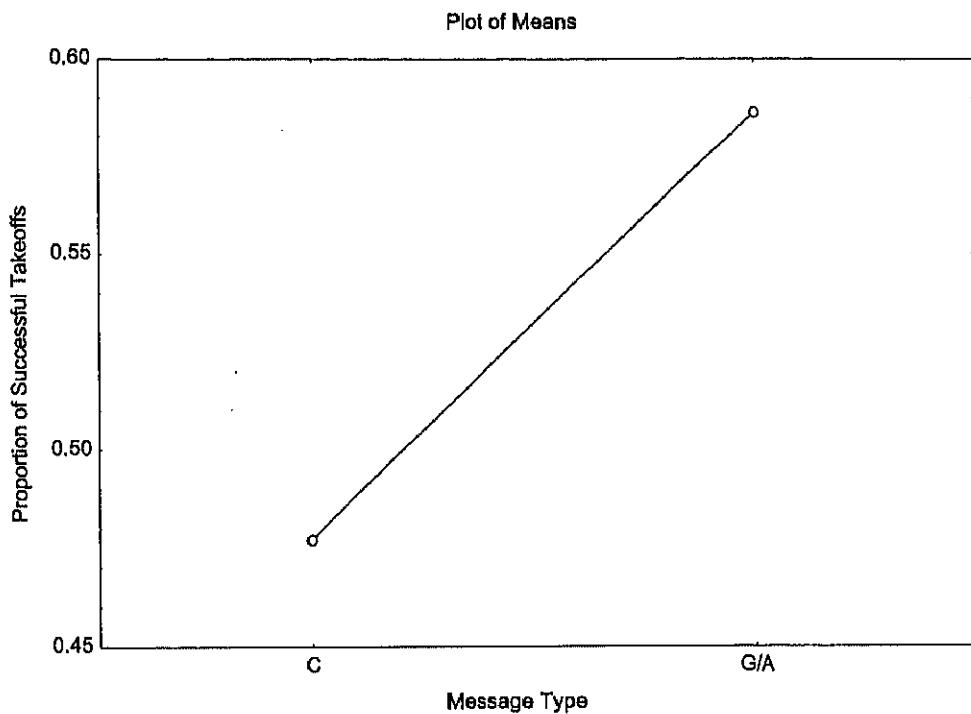


Fig. 3.6: 安全離陸達成率（メッセージ・タイプの違い）（Phase 3）

られた ($F(1, 22) = 11.09, p < 0.005$)。

同様に RTO を成功することができた割合を RTO 成功率として被験者毎に集計し RTO 成功に対する要因効果を調べた。ただし Phase 3 のエンジン故障に対しては RTO を成功させることは困難であるので、Phase 2 における RTO 成功率に着目する。分散分析の結果、安全離陸達成率と同様、メッセージの種類の違いに有意な差が認められた ($F(1, 22) = 9.80, p < 0.005$) (Fig.3.7)。

安全離陸達成率と RTO 成功率の分析において、メッセージの種類によって有意差が検出された。これは意思決定支援メッセージの提示により従来型よりも被験者が各フェーズにおける正しい判断を行ったためと思われる。

また安全基準を満たせずに離陸を行った安全限界の離陸に対する要因効果を調べるために、各 Phase における試行中、安全限界の離陸となった割合を安全限界離陸率として被験者毎に集計したところ、Phase とメッセージの種類によって交互作用が検出された ($F(1, 22) = 12.69, p < 0.002$) (Fig.3.8)。

安全離陸達成率と RTO 成功率の結果も考慮すると、安全限界離陸率における交互作用は意思決

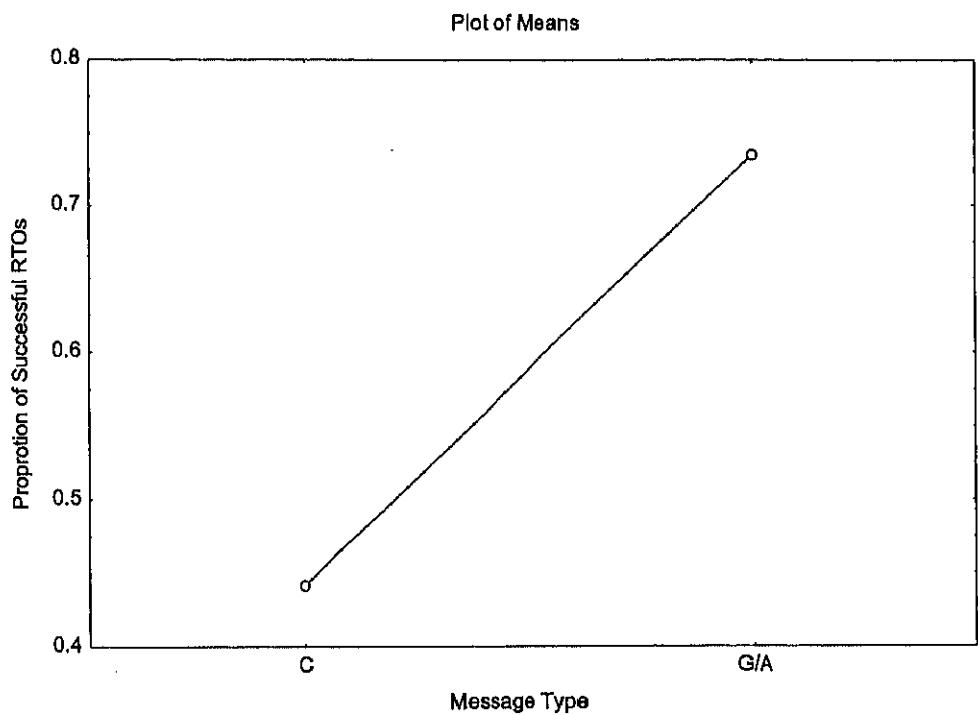


Fig. 3.7: RTO 成功率 (メッセージの種類の違い) (Phase 2)

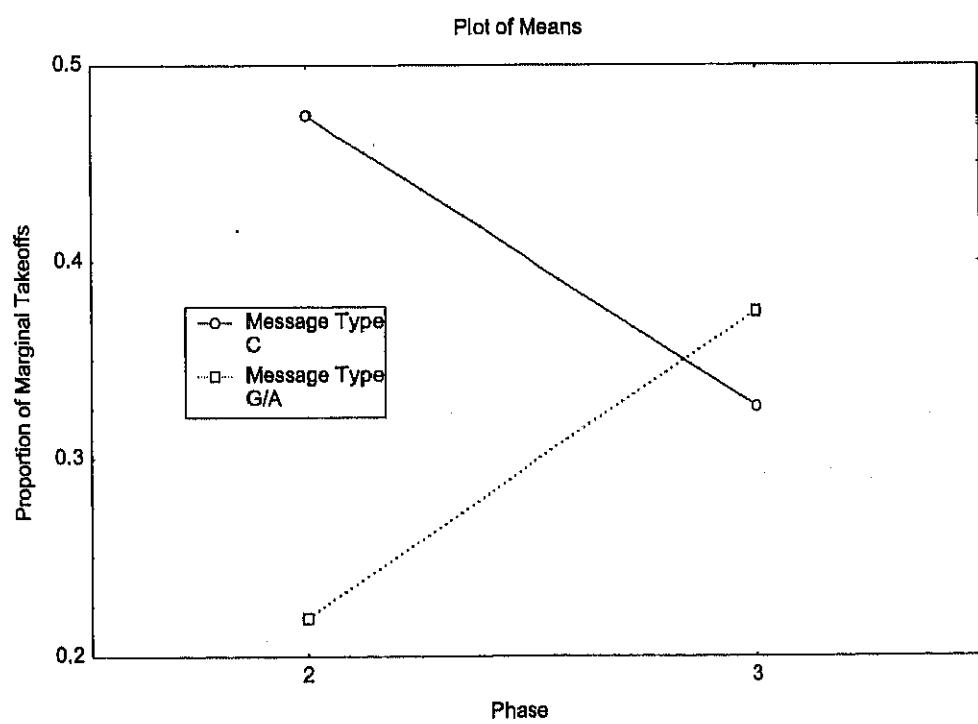


Fig. 3.8: 安全限界離陸率 (メッセージの種類と Phase の交互作用)

定支援メッセージによって被験者が各フェーズにおける正しい判断を行えるようになったため、正しい判断が困難であった従来型との差異が明確になったものと思われる。

各 Phase における試行中、オーバーランに至った割合をオーバーラン率として、その平均値を Fig.3.9 に示す。M モードに着目すると、M モード C 型はオーバーラン率が最も高く、Phase 2 上

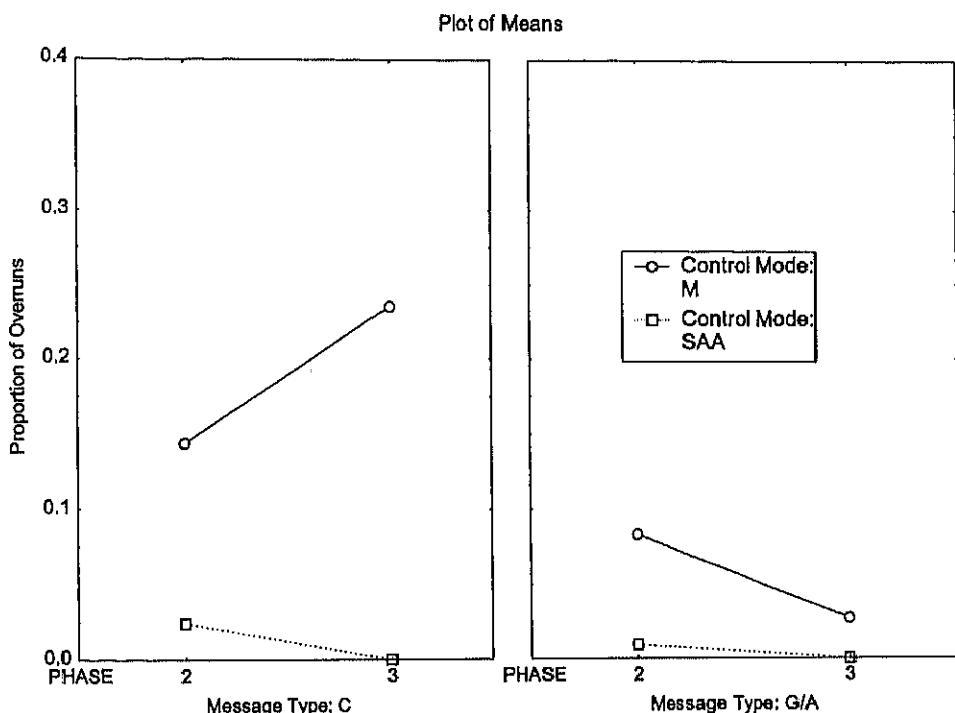


Fig. 3.9: オーバーラン率

りも 3 の方がその値が大きいことがわかる。これは本来 RTO すべきでない Phase 3 の領域において RTO した被験者が多いことを示している。

一方、M モード G/A 型では M モード C 型のものに比べオーバーラン率が低くなっている。これは意思決定支援システムによって、人間が状況に応じた正しい意思決定を行えるようになったことで、離陸安全を高められたことを示している。なお、G/A 型の結果で Phase 3 より Phase 2 の方がオーバーラン率が増えるのは次のような理由によるものと考えられる。G/A 型インターフェースにおいて被験者は Phase 2 では RTO を試みる割合が 83% 以上であった。しかし Phase 2 でエンジン故障が発生したにもかかわらず RTO 可能な速度を越えた時点できやく RTO 操作を開始した場合、空走距離の消費によりオーバーランに至る。このようなケースは少なくなく、後の「支援メッセージの動的変化の影響」の項で議論を行う。一方 Phase 3 で RTO を試みたケースは 7% 以下であった。Phase 3 のエンジン故障に対し RTO を行った場合はオーバーランするが、RTO を

試みたケースそのものが少ないので Phase 3 より Phase 2 の方がオーバーラン率が増えることになったと考えられる。

SAA モードではインターフェースの違いに関わらずオーバーラン率は極めて低い。これは第 2 章の実験結果の項で述べられたが、Phase 2, 3 のエンジン故障に対して RTO がもはや間に合わないタイミングで RTO を行ったとしても、SAA モード下では自動化システム側に操縦の権限が移行し、オーバーランを防ぐことが理由として考えられる。たとえ意思決定支援システムを導入したとしても、人間が操縦権限を保ちつづける限り判断ミスによる人的エラーの影響は免れないことが確かめられた。

3.4.4 人間と自動化システムの意図相違発生の影響

SAA モードにおいては、 V_1 を過ぎてから人間が RTO を行おうとしても、SAA が権限を自動化システム側に移行し、自動化システムが離陸継続を行うため、人間と自動化システムの間に意図の相違が発生することがある。この時の人間から自動化システムへの権限の移行により、被験者は現在の状況認識に混乱をきたし、Automation Surprise を引き起こす可能性がある。その場合の被験者的心象にもたらす影響を主観的尺度評価を用いて分析する。

ここでは被験者が様々な経験をする中での主観的尺度の評価を試みるために、SAA モードにおいて試行全体で SAA と被験者の意図が同じであった場合と、異なっていた場合とを分けて比較した。自信、依存度、信頼感はシステムに対する経験を受けて変化していく動的な性質を持っている。従って厳密な意味での人間と SAA の意図の一一致、不一致における GOING メッセージの効果を評価しようとするならば、過去の経験まで統制された被験者の同じ条件でのデータを回収し分析を行うことになる。しかし本実験ではシステムが現実の世界で曝されるのと同じように様々な経験を持つ使用者のもとでのシステムの有効性を評価することが必要である、という考え方もとで解析を行う。

C 型 (Fig.3.10)においては被験者と SAA の意図が食い違った場合、自信は低下し ($F(1, 176) = 12.218, p < 0.0006$)、依存感も低下した ($F(1, 176) = 4.937, p < 0.03$)。また信頼感についても同様の傾向が見られた ($F(1, 176) = 3.134, p < 0.079$)。これは被験者が自分の判断に過ちがあることを認めつつも、SAA に対して不信感を抱いていると解釈できる。G/A 型 (Fig.3.11)においては意図の違いがあった場合、自信は低下する ($F(1, 163) = 20.566, p < 0.00002$) もの、信頼感、依存感については低下は認められなかった。

また実験終了後のインタビューで、G/A 型の実験に参加した被験者から「GOING」のメッセー

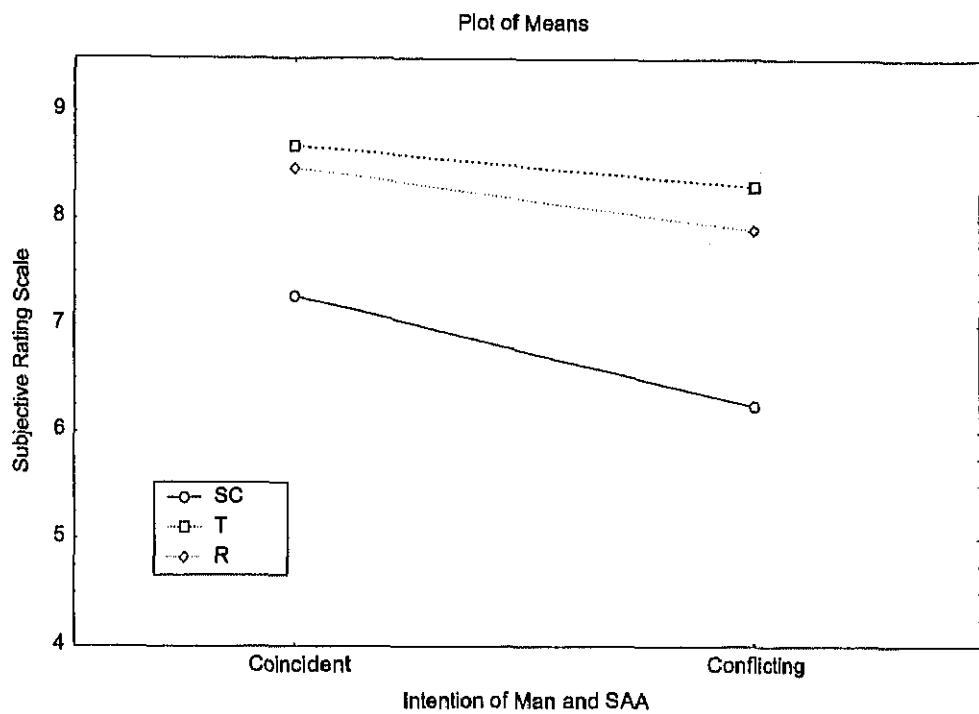


Fig. 3.10: 人間とSAAの意図の相違 動作報告なし

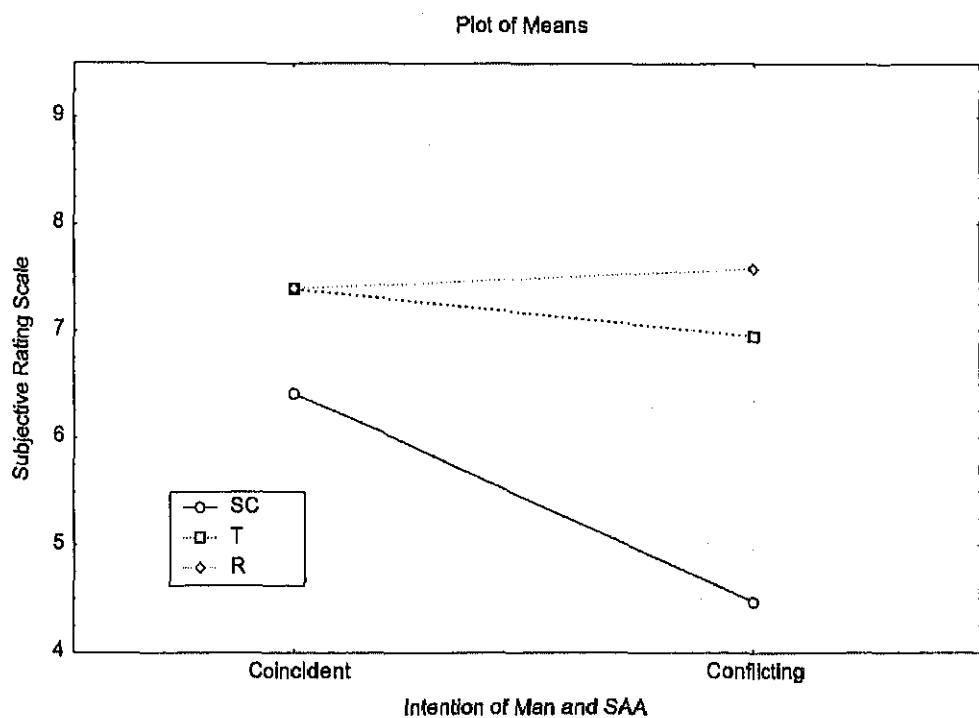


Fig. 3.11: 人間とSAAの意図の相違 動作報告(GOING)あり

ジが提示されることで、自分が判断を間違えた時、SAA があることを強く感じられて安心した。」「ここは RTO をしたほうがよい、と思って RTO したにも関わらず、SAA によって離陸継続させられた時、がっかりしたが、(「GOING」として告知することで) SAA が飛ばしてくれるのが分かった。事故が起きるよりはいいので納得した。」等のコメントが得られた。

のことから、SAA が介入する時に提示される「GOING」メッセージが、Automation Surprise の発生を防ぎ、被験者の SAA に対する信頼感、依存感の低下を防ぐ効果があることがわかる。自動化システムにおいて、その作動状況を適切に伝えることは、人間と自動化システムの信頼関係を強固なものにする効果があると考えられる。

3.4.5 意思決定支援情報の動的変化の影響

Phase 2においてエンジン故障が発生した場合、G/A 型インターフェースのもとでは「ABORT」メッセージが提示される。しかし、何らかの理由で被験者の RTO 操作が 1 秒以内に行われない場合は、もはや滑走路内で機体を停止させるには遅すぎる状況となる。このときメッセージは「ABORT」から「GO」に変わる。このような短時間での支援メッセージ変化が及ぼす心理的影響を主観的尺度評価を用いて調べる。具体的には被験者がメッセージを受け取る様々な状況において自信、信頼感、依存感がどのような変化をするかを調べる (Fig.3.12)。メッセージが提示される状況は、次の 3 種類である。

1. Phase 3 でエンジン故障が発生し、「GO」のメッセージが提示される状況（「GO」ケース、144 件）
2. Phase 2 でエンジン故障が発生して、「ABORT」メッセージ提示内に RTO できた状況（「ABORT」ケース、71 件）
3. Phase 2 でエンジン故障が発生したものの、被験者の対応が遅れたために、メッセージが「ABORT」から「GO」へ変化する状況（「ABORT to GO」ケース、43 件）

「ABORT to GO」ケースに比べて、「GO」ケースの件数は 3 倍以上あるが基本的に平均値での有意差を議論する分散分析を用いる場合、最小の件数である「ABORT to GO」ケースでも 43 件のサンプル数が得られており、分散分析を行うには十分な数であると考えられる。分散分析の結果、信頼感、依存感は違いが認められなかったが、これは信頼感、依存感が SAA に関わる主観であるためと解釈される。自信はメッセージの提示される状況の違いによって変化が認められた ($F(2, 255) = 26.5892, p < 0.0001$)。そこで Sheffe 検定を行ったところ、3 者の間に高度な有意差

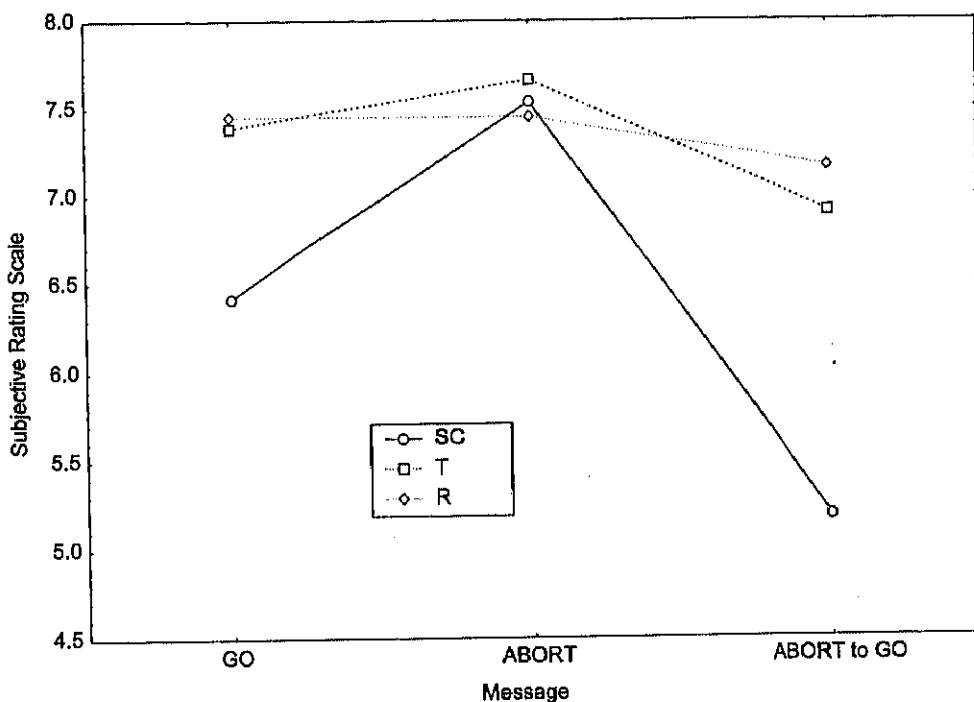


Fig. 3.12: 提示されるメッセージの主観的尺度に与える影響

が検出された。V₁ 近くのエンジン故障に対し、自主的に適切な判断を行うことが困難であることはこれまで述べた通りである。能力の高い被験者の意思決定の自主性に関して、客観的に採取されるデータだけでは明確に区別することはできない。従って支援メッセージの効果を議論する際に、支援メッセージを必要としないような能力の高い被験者がたまたま G/A 型インターフェースの実験に多く参加したために G/A 型の方が成績がよかつたことの可能性は否定し切れない。しかしながら分散分析の結果が危険率 $p \leq 5\%$ である場合には「能力の高い被験者がたまたま片方に集中した」と考えるより「被験者の群間での能力のばらつきは同程度であり、意思決定支援メッセージが効果を発生した」という可能性を取り考察を進める。メッセージが「ABORT」から「GO」に変化すると自信の低下が著しいことが Fig. 3.12 から読みとれる。また実験後、被験者は「メッセージが変化すると混乱した」「自分が失敗したと思って自信をなくした」と発言していることから、RTO ができるにも関わらず、躊躇をして反応が遅れたことが、自信の低下につながったものと考えられる。状況変化が急激で、支援メッセージの有効性が短時間しか保てない場合、正しいメッセージを提示しても、人間の対応が遅れると、不適切なメッセージと成り得ることが確かめられた。

3.5 むすび

「人間中心の自動化」を「あらゆる状況下で人間に常に責任を持たせること」と解釈して、最終的な意思決定権を常に人間に残すと、離陸の安全が十分に確保されなくなる可能性があることが数理モデル^[64, 65]によって示されている。離陸タスクの特徴として狭い滑走路内を高速走行することによる高ワークロードの環境と、 V_1 付近において状況認知・判断に許される時間が1秒程度しかないという点がある。このため訓練をつんだパイロットでさえも誤判断を起こして事故に至ってしまう事例が多く発生する（Fig.2.7）。このような意思決定が厳しい状況に曝される離陸時において自動化システムの導入を考えた場合、自動化システム側がパイロットの誤判断を指示し納得させるだけの時間余裕はない。そこでパイロットの了解を待たずとも自動化システムへ権限を委譲する高度な操縦権限を有するSAAを考え、離陸安全の向上に寄与することを認知工学的実験から確かめた。ただし状況適応的な自動化が人間を救う状況においても、人間の特性や尊厳を無視した自動化であってはならない。人間中心の自動化は人間をシステムの最高位とするものであり、状況適応的な自動化によって人間の尊厳が脅かされることになっては人間と自動化システムの信頼関係に好ましからざる影響を及ぼす可能性がある。そこで本章において述べられた実験では、SAAが介入する時に自動化システムの意図を透過なものにするため「GOING」というメッセージを人間に提示することで、Automation Surpriseの発生を防ぎ、被験者のSAAに対する信頼感、依存感の低下を防ぐ効果があることが確かめられた。自動化システムにおいて、その作動状況を適切に伝えることで、人間と自動化システムの信頼関係を強固なものにする効果があると考えられる。

また離陸可否を短時間で判断しなければならないような逼迫した状況でも、人間が正しく意思決定できるよう、その時取るべき行動を具体的に示す「GO/ABORT」のメッセージを提示することで、人間の正しい意思決定を支援する効果が確かめられた。その結果、離陸安全の向上に寄与することが分かったが、人間が最終的な意思決定権を有している以上、ほとんどオーバーラン事故が発生しなかったSAAモードの実験結果に比べ、Mモード下G/A型の実験結果では人的エラーは免れ得なかった。