

情報技術と倫理 第10回講義

ヒューマンエラーとユーザインタフェース

情報科学研究科 情報システム工学専攻 /

サイバーメディアセンター 情報メディア教育研究部門

清川 清

スリーマイルアイランド発電所事故 (1979.3.28)

1. 主給水ポンプが停止して補助給水ポンプが自動起動
2. ポンプ出口弁が閉じており二次冷却水が循環しない
3. 一次系の圧力が上昇し加圧器逃がし弁が開く
4. 一次冷却水が加圧器逃がしタンクにたまる
5. 冷却水補充機構が自動起動
6. 満杯になった一次冷却水は補助建屋に移送
7. 冷却水補充機構を手動停止
8. 環境への放射能の放出
9. 振動のため一次冷却水ポンプ手動停止
10. 炉心損傷が起きる

原因

□ 設計上の原因

- 加圧器逃し弁が、圧力が下がっても閉じなかった
- 格納容器内の水を移送する配管が隔離されておらず、放射能の一部が環境へ放出された

□ 人的な原因

- 補助給水ポンプの出口弁が閉じられた状態で運転していた
- 圧力が低下しても加圧器逃がし弁が閉じないのを放置した
- 冷却水補充機構を早く止めたり、送水量を減らしたりした
- 冷却手段として残っていた一次冷却水ポンプを止めた

JCO東海村ウラン加工施設臨界事故 (1999.9.30)

1. 作業中に臨界状態になった
 2. 約20時間臨界状態が継続
 3. 施設から中性子線、 γ 線などが発生
 4. 半径350m圏内の住民に避難要請
半径10km圏内の住民に屋内退避要請
- 急性放射線障害で2名死亡、被爆者667名
(朝日新聞2000.10.14)

原因

□ 人的な原因

- 燃料加工手順を正しく行わず、容器に規定を超えるウラン溶液を入れた

ウィルスバスター騒動 (2005.4.23)

1. 7:33 ウィルスパターンファイル 2.594.00を公開。更新すると CPU使用率が 100%になる
2. 9:02 ユーザからの問合せにより公開を停止
3. 10:51 以前のパターンファイルを 2.596.00 として配布開始
- 24時間で個人向け16万件、法人向け1万3000件の問合せが殺到

原因

- パターンファイルのコードミス
 - 検索エンジンが用いる特殊な圧縮形式への対応部分
- テスト工程でのチェックミス
 - Win XP SP2 でのチェックを怠った
 - コードミスが発症しない古い検索エンジンでテストした
- 個人まかせでダブルチェック体制がない

完全なマンマシンシステムはない

- システムの運用に伴う失敗は、社会的責任、道義的責任を問われるような大事故・大災害、経済的損失、信用の喪失に直結する
- 人間が介在するシステムでは失敗はつきもの
 - 当事者の道徳・規律だけでは防げない
- 人間の特性、失敗のメカニズムを考慮したシステムの構築・運用が重要

ヒューマンファクター

- 人間の能力、限界、特徴に関する情報の収集と分析、それに基づくツール、機械、システム、仕事、環境の改善。安全、快適、能力の効果的利用。
- 高度な技術を駆使する環境で、人が最も安全かつパフォーマンスを発揮できる環境のより良い理解。
 - デザイン、トレーニング、方針、手順の向上にフィードバック

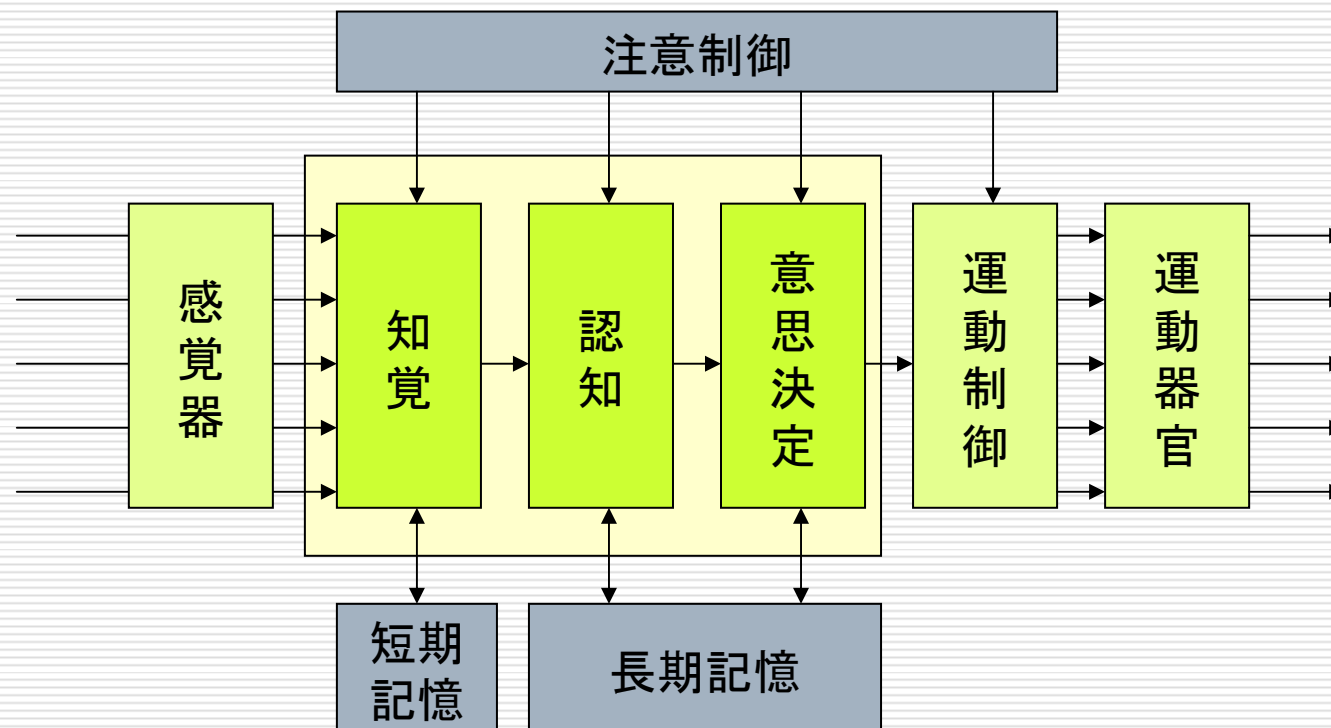
http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human_textonly.html

モデルヒューマンプロセッサ (Card)

- 人間の情報処理を
計算機のモデルで
理解
- 長期記憶・短期記憶
- チャンク(7±2)
- 100ms

Deleted based on copyright concern.
“The Psychology of Human-Computer Interaction,”
Stuart K. Card, Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

人間の情報処理モデル

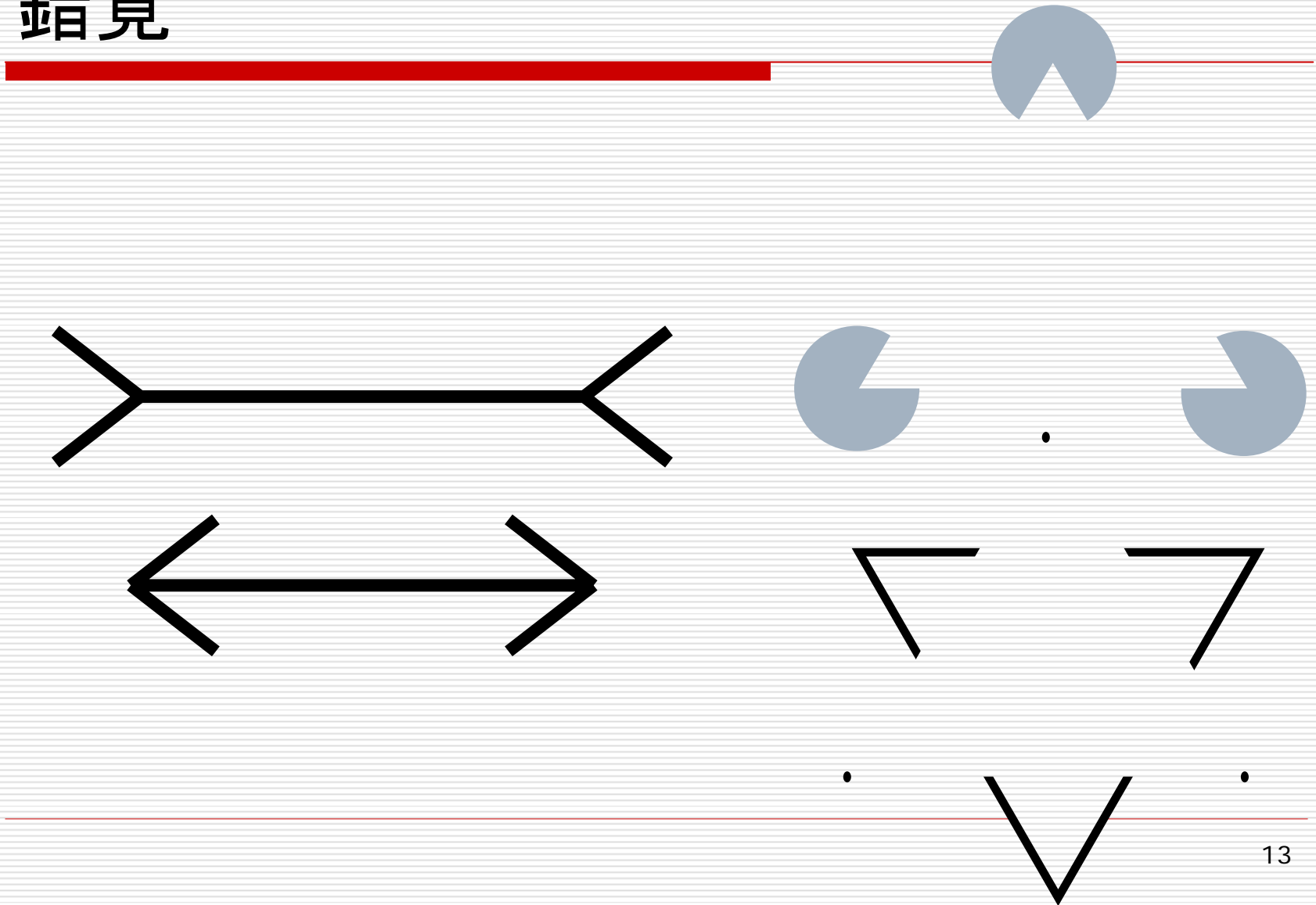


知覚と認知における性質

- 「知覚」とは単に物理刺激の受容
- 「認識」には知識と推測が必要
 - 文脈によって同じ情報の解釈は変化する
 - 情報に文脈を与え、正しく理解させる工夫が必要
- 「*B*」か「13」か？ 「12」か「12」か？

TAE CAT

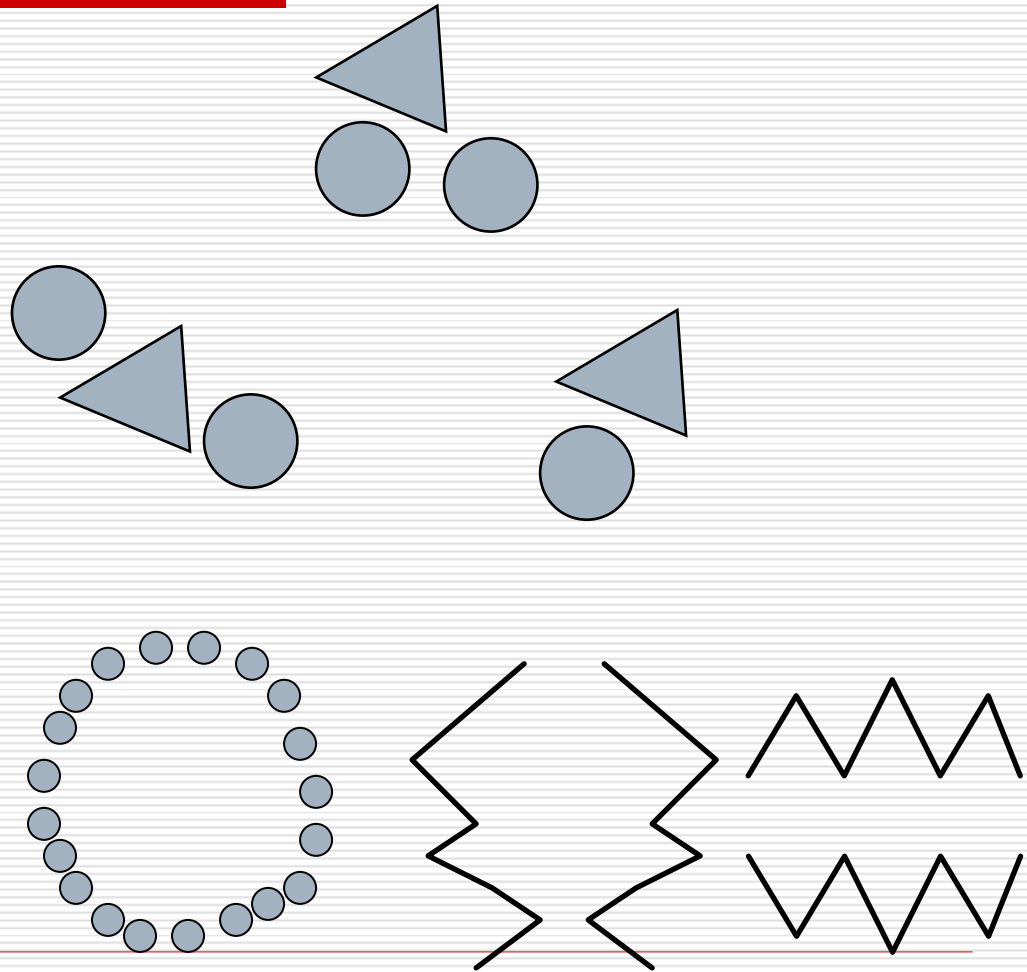
錯覺



Gestalt心理学の組織化の法則

□ 知覚の組織化

- 近接
- 類似
- 閉鎖
- 連続
- 対称



意思決定における性質

- 正常化の偏見 (normalcy bias)
 - 人間は元来保守的
 - 異常を認めたがらない傾向
 - 「大したことはないだろう」

- こじつけ解釈 (story building strategy)
 - 異常を発見しても正常化する理由を創造する
 - 「きっと ○○ のせいだろう」

記憶の性質

- 頼りにならない
 - 激しく忘却する
 - 積極的に忘却することはできない
 - 変化する
- 上書きが困難
 - 類似した操作の覚え直しが困難
 - 回数が増えるほど、より困難
 - 操作方法が変わってもついていけない
 - とっさの時に古い操作方法を実施してしまう

注意力の持続時間

- 注意力は長時間保てない
- 作業条件や個人差による違いが大きい
- 注視が必要な作業は30分程度が限界
 - 造幣局や真珠工場の目視作業員は15分交代

適応能力の怖さ

- システムの潜在的な問題に気づかない
 - システムに問題があっても克服してしまう
 - 「最初はよくわからなかったが、なんとなくできた」
 - システムの問題、克服した手順などが記録に残らない
 - 「次はもっとうまくできるから大丈夫だ」
 - 「他の人もうまくできるだろう」
 - 「最初うまく行かなかったのは自分のせいかも」

ヒューマンエラーは原因ではなく結果である

- 起こるべくして起こる
- 「結果」の要因を究明することが重要
 - 操作マニュアル
 - ウソが書いてある、誤解しやすい記述である...
 - 操作インタフェース
 - 押しにくい、操作の結果がわかりにくい...
 - 作業者の心理状態
 - 疲れていた、焦っていた...

PSF (Performance Shaping Factor)

☐ 行動形成要因

- 作業者の行動に影響を与える要素
- Swain の分類(原子力発電所の例)
 - ☐ 外的要因
 - ☐ ストレッサー
 - ☐ 内的要因

ヒューマンエラーの定義

□ 人間工学における定義

- 「システムから要求されたパフォーマンスからの逸脱」(Meister, 1971)
- 「システムによって定義された許容限界を超える一連の人間行動」(Swain, 1980)
- 起こした行動にシステムが耐えられるかが焦点
- 同じ行動でも、許容限界が広がればエラーは減る

ヒューマンエラーの定義（つづき）

□ 心理学における定義

- 「計画された心理的・身体的過程において意図した結果が得られなかった場合を意味する用語」
(Reason, 1990)
- 意図と結果のズレが問題
- より心理的レベルに焦点

ヒューマンエラーの要素

□ 5M

- Man (人)
- Machine (システム)
- Media (環境)
- Mission (作業内容)
- Management (管理体制)

ヒューマンエラーの分類

- 形態別レベル (Swain, 1980)
 - オMISSIONエラー (omission error)
 - 操作の怠り、必要な操作をしない
 - コMISSIONエラー (commission error)
 - 操作ミス、正しくない操作を行う
 - インパーフェクションエラー (imperfection error)
 - 正しい操作を不完全に行う

ヒューマンエラーの分類（つづき）

□ 情報処理レベル(認知心理的分類)

■ 橋本（1981）の分類

□ 認知・確認のエラー（入力エラー）

- 外部情報の入力過程でのエラー
- 聞き間違い、見間違い

□ 判断・記憶のエラー（媒介エラー）

- 行動の意思決定など判断過程でのエラー
- 思い違い、勘違い

□ 動作・操作のエラー（出力エラー）

- 動作出力過程でのエラー
- 押し間違い、言い間違い

ヒューマンエラーの分類（つづき）

□ 情報処理レベル(認知心理的分類)

■ Norman (1988) の分類

□ ミステイク (mistake)

- 目標設定自体の誤り
- 誤解、思い込み
- 正しい行為と考えているためエラーに気づきにくい

□ スリップ (slip)

- 行為の遂行過程での誤り
- うっかり
- 意図と結果が異なるのでエラーに気づきやすい

ヒューマンエラーの分類（つづき）

□ 心理的要因レベル(米山, 1985)

- 判断の甘さ
- 習慣的操作
- 注意転換の遅れ
- 思い込み、省略
- 情報収集の誤り

ヒューマンエラーの分類（つづき）

□ 行動の変容レベル(黒田, 1988)

- 懸命レベル: 忠誠心や責任感に起因するエラー
- 確信レベル: 慣れた作業での思い込み、過信
- 焦燥レベル: 時間に切迫した焦り
- 放心レベル: 疲労・寝不足など意識レベルの低下
- 多忙レベル: 作業量の増加など心理的余裕の欠如
- 無知レベル: 知識、経験不足に起因エラー

ヒューマンエラーの分類（つづき）

□ Rasmussen の行動レベルによる分類

行動レベル	対応するエラー
スキルベース	Slip (Norman) Lapse (Reason)
ルールベース	Mistake
知識ベース	Mistake

違反 (violation)

- 発生メカニズムが異なる
 - ヒューマンエラー =「意図しない行為」
 - 違反 =「意図した行為」
- 違反の分類
 - ルールを知らない
 - ルールを理解していない
 - ルールに納得していない
 - ルールを守らない人が多い
 - ルールに違反しても罰せられない

思い込み

- 思い込んだら試練の道
 - 思い込みは大変な試練への近道
 - アトランタ五輪のヤワラちゃん

エラー防止のための戦術的アプローチ

- 東京電力グループ ヒューマンファクターグループ特別研究員 河野龍太郎
 - http://www.medicalsaga.ne.jp/tepsys/MHFT_index.html
- エラーの「発生防止」と「拡大防止」のための体系的手法を提案

エラー防止のための戦術的アプローチ

エラーの防止

- なぜ防止したいのか
 - 「失敗は成功の素」の場合もある(ex. ペニシリン)
 - エラーの結果、損失が生じるのが問題

- エラー防止策を分類し、体系づける必要
 - 発生防止(prevention)
 - エラー自体を減らし、危険を排除する
 - 拡大防止(mitigation)
 - 発生したエラーによる損失を低減する

エラー防止のための戦術的アプローチ 4STEP/M

- ヒューマンエラーの総数
= (エラーを誘発する作業数) ×
(各作業のエラー発生確率)

- エラー防止策を4つのMで表現
 - Minimum encounter : 発生防止
 - Minimum probability : 発生防止
 - Multiple defenses : 拡大防止
 - Minimum damage : 拡大防止

エラー防止のための戦術的アプローチ

4STEP/M

- Minimum encounter
 - 危険を伴う作業の遭遇回数を減らす
- Minimum probability
 - 各作業におけるエラー確率を減らす
- Multiple defenses
 - 早期発見、拡大防止のための多重防護壁を設ける
- Minimum damage
 - エラーによる被害を最小限にするよう準備する

エラー防止のための戦術的アプローチ

Minimum encounter

- エラーの発生源を断つ
 - 車がなければ自動車事故は起こらない
 - 医者がいなければ医療過誤は起こらない
- これまでの作業プロセスを見つめなおす
 - 作業をカットできないか？
 - ex. 部品点数を減らせば組み立てミスも減る
 - より安全な作業に代替できないか？
 - ex. 故障率の少ない部品に差し替える

エラー防止のための戦術的アプローチ

Minimum probability

- エラーを起こす確率を減らす
 - 従来の考え方: ×「注意すれば事故は起きない」
 - 「エラーは、エラーを誘発する環境と、作業者が備える人間本来の特性が作用して、必然的に起こる」
- エラーを誘発しにくい状況をつくる
 - 作業環境の改善: エラーを起こしにくい環境にする
 - 作業者の改善: エラー耐性を高める訓練をする

エラー防止のための戦術的アプローチ

Minimum probability (cont'd)

□ エラーを起こしにくい環境

■ 期待されない行動を抑制する

- 正しい手順でないと思えなくする (ex. 風呂屋のカギ)
- 危険度の高い作業を敢えて困難にする (ex. 薬ビン)

■ 認知的負担を軽減する

- 覚えなくてよい、考えなくてよい、のが理想
- 視覚的手がかりを与える (ex. 色、形、説明文)
- 操作方法を統一する (ex. 車の運転方法)

■ 身体的負担を軽減する

- 持ちやすくする、握みやすくする (ex. 蛇口の形状)

エラー防止のための戦術的アプローチ

Minimum probability (cont'd)

□ エラー耐性を高める訓練をする

■ 予測能力を身につける

□ 適切な休息で感覚器官の機能を維持する

□ 潜在する危険を作業前に予測する

■ KYT (Kiken Yochi Training), TBM (Tool Box Meeting)

□ 経験を共有する

■ 判断能力を身につける

□ 安全優先で自分の実力を客観的に知る(見栄を張らない)

□ 能力が不足する場合の最善の方法を考える

□ チェックリストやメモを活用し記憶に頼らない工夫をする

□ 指差点検などをして意識的に覚醒の水準を高める

エラー防止のための戦術的アプローチ

Multiple defenses

- 作業者が自らエラーをチェックする
 - チェックリストを用いる
 - 逆順にチェックする
 - チェックを繰り返す習慣をつける
- 作業者以外の助けによりエラーをチェックする
 - エラーの発生がわかる工夫をする
 - ex. モノの置き場所が一定なら紛失に気づきやすい
 - チームでチェックする

エラー防止のための戦術的アプローチ

Minimum damage

- それでもエラーは発生する
 - 直接的な被害を小さくする
 - ex. クッション、シートベルト、プラスチック皿
 - 代替の手段を事前に準備する
 - ex. 無停電電源装置、予備パラシュート

エラー防止のための戦術的アプローチ

ヒューマンエラー防止策

<input type="checkbox"/> やめる	}	排除	Minimum encounter
<input type="checkbox"/> できなくする	}	制約	Minimum probability
<input type="checkbox"/> わかりやすくする			
<input type="checkbox"/> やりやすくする			
<input type="checkbox"/> 予測させる			
<input type="checkbox"/> 安全を優先させる	}	啓発	
<input type="checkbox"/> 確認させる			
<input type="checkbox"/> 気づかせる	}	検出	Multiple defenses
<input type="checkbox"/> 備える			
	}	緩和	Minimum damage

エラー防止のための戦術的アプローチ

例) ファイルの保存し忘れに対する対策

- | | |
|-----------------------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/> やめる | 不揮発メモリを用いる |
| <input type="checkbox"/> できなくする | 終了時に自動的に保存する |
| <input type="checkbox"/> わかりやすくする | 未保存状態を可視化する |
| <input type="checkbox"/> やりやすくする | 保存ボタンを目立たせる |
| <input type="checkbox"/> 予測させる | 保存の必要性を教育 |
| <input type="checkbox"/> 安全を優先させる | — |
| <input type="checkbox"/> 確認させる | チェックリスト |
| <input type="checkbox"/> 気づかせる | 差分を見る、保存時刻を見る |
| <input type="checkbox"/> 備える | 定期的にバックアップを取る |

エラーから学ぶ

- 注意喚起、規則強化では足りない
- FTA (Fault Tree Analysis)
 - 要素ごとの故障発生確率と因果関係で全体の信頼性を分析
- RCA (Root Cause Analysis)
 - エラーの根本原因まで遡って追究
- FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)
 - 故障モードの相互関係から致命的関係のある故障を識別
- MORT (Management Oversight Risk Tree)
 - 背景的要因、発端的要因、媒介的要因、直接的要因に分類
- GEMS (Generic Error-Modeling System)
 - 各行動パターンのどこにエラーが発生したかを分析

エラーから学ぶ

- VTA (Variation Tree Analysis)
 - 作業主体ごとの時系列行動の流れを相互関係として追跡し、排除すべきノードや流れを検索
- なぜなぜ分析 (Why Why Analysis)
 - 起こった事象の原因を詳しく追跡
- Medical SAFER
- J-HPES (Japanese version Human Performance Enhancement System)
- M-SHEL モデル
 - エラーの原因をソフト、ハード、環境、人、マネジメントに分けて分析

米国航空機事故

- 従来はパイロット個人に事故原因を押し付け
- 近年は人間工学を考慮して操縦環境を改善
- 民間航空会社も成果を導入
- 米国内ジェット便の死亡リスク
 - 200万分の1(70年代)→800万分の1(90年代)

NASA Aviation Safety Reporting System (ASRS)

- 1976年設立
- 航空事故の防止目的
- 報告者は匿名で登録
- 免責を担保
- 「ミスの処罰より、事例情報が得られる方が有益」

Deleted based on copyright concern.
“NASA Aviation Safety Reporting System”

厚生労働省 ヒヤリ・ハット事例収集事業

□ 医療安全対策ネットワーク整備事業の一環

- 医療事故の要因を把握するため、類似の事例（ヒヤリ・ハット事例）を収集（平成13年10月より）
- 事例の内容、要因・改善策・専門家のコメントをデータベース化し公開
<http://www.hiyari-hatto.jp/>

うっかりミスとの付き合い方（芳賀，2004）

□ ミスを怖がらない

- 不完全な情報から知識や経験で補って行動するのは人間の高い推論能力の証明である

□ ミスより事故を防ぐ

- 事故にならなければよい、との割り切りが重要
ex. 忘れ物をなくせないなら、複数買って置いておけばよい

□ ミスではなく違反を責めよ

- ミスは悪意ではない。システム改善のヒント

ハウレンソウ

□ 報告

- 要点を的確に
- 資料や図を活用

□ 連絡

- いつ、だれが、どこで、なにを、どういう風に

□ 相談

- 要点を的確に
- 自分の意見を用意してから！

アフォーダンス (Gibson)

- 物体がもつ, その物体の特性をしめす固有の情報
 - 椅子はその形から座ることをアフォードしている

- Norman がインタフェースの点からアフォーダンスの重要性を指摘
 - 例) 押すドアと引くドア



統一性の欠如

□ 水栓レバー

- 水を出すにはレバーを上げる？下げる？

□ 操縦桿

- 機体を上げるにはレバーを上げる？下げる？

*1



Deleted based on copyright concern.

*1 Courtesy of SAN-EI faucet Mfg co., Ltd.

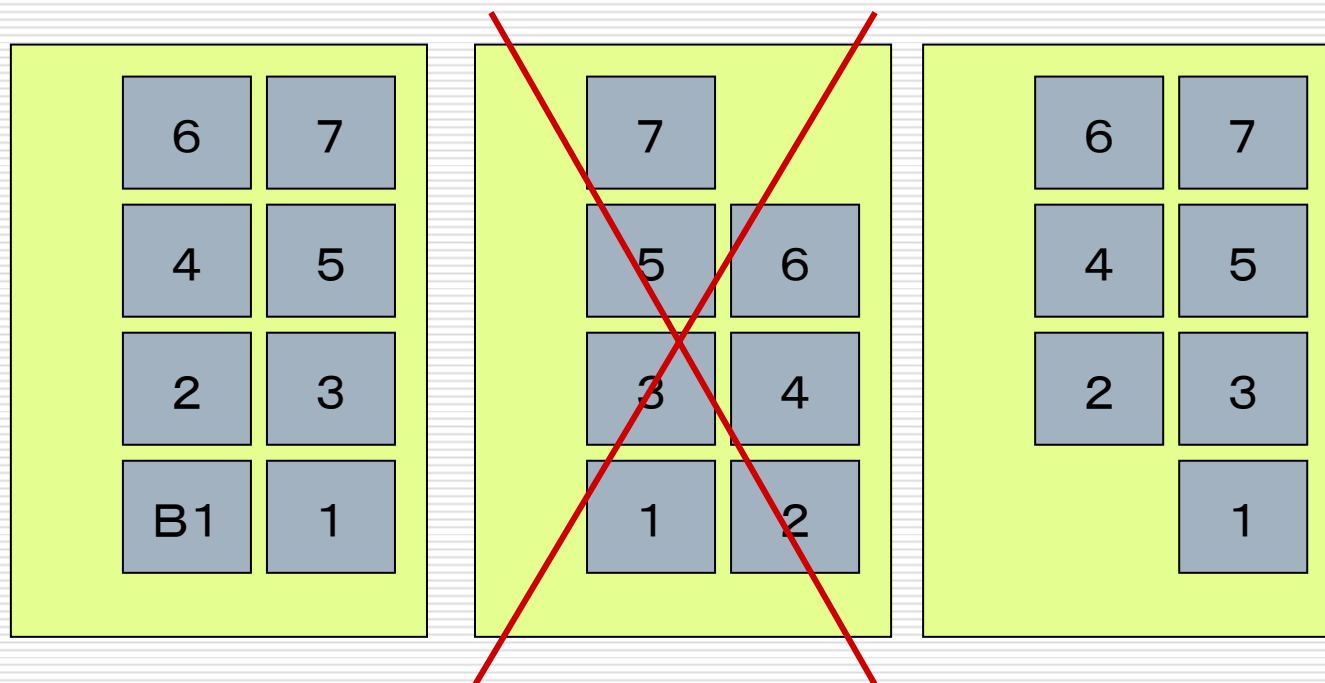
Since the great Hanshin earthquake in 1995, it has become JIS standards to turn the faucet off by putting down a lever to prevent water from keeping running by shaking and falling objects.

<http://www.san-ei-web.co.jp/>

<http://www.thrustmaster.com/>⁵²

統一性の欠如

□ 同じビルの異なるエレベータのボタン配置



統一性の欠如

□ テレビのリモコン

- 海外のリモコンは電源ボタンがないものも多い

インタフェースデザインのための8原則 (Shneiderman)

- 一貫性を保て
- ショートカットを用意せよ
- フィードバックを提供せよ
- 連続する操作の終了を明示せよ
- エラーの防止策を講じ、エラーからの復帰作業を単純化せよ
- アンドウ、キャンセルと許可せよ
- 制御の自由を与えよ
- 短期記憶の負荷を軽減せよ

基本設計原則(Tandy Trower)

☐ ユーザコントロール

- すべてのアクションはユーザにより起動されるべき
 - ☐ システムが勝手に動かない
 - ☐ 自動機能も、ユーザの意思で起動する
- モードのある対話は最小に
 - ☐ 対話をロックするモード変化は最小限に
 - ☐ モード変化が適切な場合もある(描画ソフト)
- カスタマイズを許す
 - ☐ 色や配置などを変更可能に

基本設計原則(Tandy Trower)

□ 直接性

- ダイレクトマニピュレーションを提供
- 存在を視覚化する(アイコンの利用)
 - 記憶を助ける
- わかりやすいメタファを利用
 - 既存の知識と対応付け、学習を容易に
 - 必ずしも現実世界と一対一に対応しなくてもよい

基本設計方針(Tandy Trower)

□ 一貫性

- 学習が容易になる
- 操作に安定性と予測性をもたらす
 - 名前、見かけ、挙動...
- 内部一貫性
 - 製品内部での一貫性
- 外部一貫性
 - 外部製品との一貫性
- メタファーと概念モデルの一貫性

基本設計方針(Tandy Trower)

☐ 簡索性

- KISS – Keep it simple stupid
- 簡単なことは簡単に
 - ☐ 視覚的表現のアフォーダンスを利用
 - ☐ 簡索性と機能性は相反する
- 段階的情報・機能の提示
 - ☐ 熟練度に応じたメニュー階層
 - ☐ プルダウンメニュー
 - ☐ 階層が深すぎるのは問題

基本設計方針(Tandy Trower)

□ 寛容性

- トライアンドエラーによる学習を可能に
- 発見を促す
- データを失いそうなときは警告
- アクションは可逆か回復可能に

基本設計方針(Tandy Trower)

□ フィードバック

- ユーザは操作と結果の因果関係から学習
- 直接的な手がかりを提供
 - 実行に時間を要する場合も処理状況を示す
 - キャンセルを許す
 - 無反応の許容時間は数秒
- 視覚的, 聴覚的 に表示する.
 - カーソルの形状
 - ステータスメッセージ
 - メッセージウィンドウ

基本設計方針(Tandy Trower)

□ 視覚的完全性

■ 視覚的手がかり

- スクリーン上の表示は互いに競合することに注意

■ 図的エレメントが直感的に機能すること

- アイコンから機能を推測できること
- 機能からアイコンを推測できること

■ 専門家の利用

- プロのデザイナーを利用

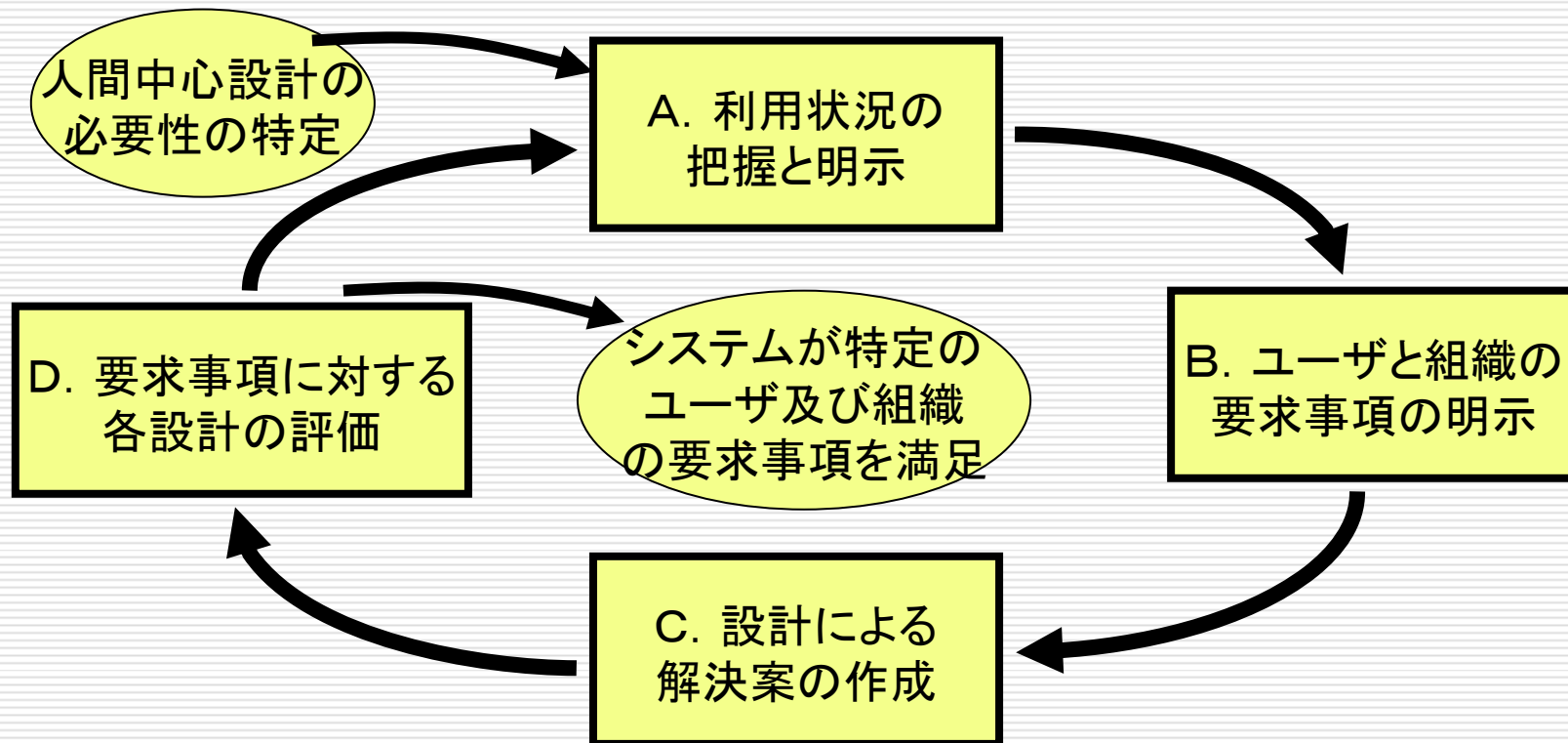
ヒューメイン・インタフェース (Raskin)

- 人間が注意できるのは一度に一箇所のみ
- インタフェースからモードをなくすべき
 - インクリメンタル・サーチ
 - ズーミング・インタフェース
- 検索が強力ならディレクトリ構造はいらない

ISO13407

- インタラクティブシステムの開発において取り入れるべき、人間を中心とした設計指針を規定した国際規格
 - PCソフト、家電、ATM、社内システム...
- 1999年制定
- 開発プロセスのみを定義
 - 具体的方法や技法は書かれていない
- 「労働科学」
 - 健康、安全、環境も考慮

ISO13407



宿題

- あなた自身が体験したヒューマンエラーの実例をひとつ取り上げ、
 1. その経緯を述べ、
 2. そのエラーが生じた原因を掘り下げて考察し、
 3. 今後同様のエラーを生まないための改善案を示せ。ただし、エラーの深刻度は問わない。

- 締切 6/20(月) 授業開始時に提出

参考文献

- 「ヒューマンエラー防止のヒューマンファクターズ」、行待武生 監修、テクノシステム、2004.
- 河野龍太郎 著、医療のヒューマンファクター工学について、
http://www.medicalsaga.ne.jp/tepsys/MHFT_index.html
- 海保博之教授ホームページ、
<http://www.human.tsukuba.ac.jp/~hkaiho/>
- “The Psychology of Human-Computer Interaction,” Stuart K. Card, Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- “The Humane Interface: New Directions for Designing Interactive Systems,” Jef Raskin, Addison-Wesley Professional, 2000.
- “The Design of Everyday Things,” Donald A. Norman, Basic Books, 2002.