web 講習会コース ： マルチボディダイナミクス・振動を学ぼう
(ものづくりの高度化支援技術)

ねらい:　ものづくりのためのマルチボディダイナミクス・振動の基礎力と解析力を高める。運動する物体の運動方程式の立て方を学ぶ。

コース:

・コース基本単位　3 コマ*;　3 時間、	初級コース料金	12,000 円(消費税別)
(*　1 コマは 1 時間)	中級コース料金	15,000 円(消費税別)
	上級コース料金	18,000 円(消費税別)
	要望コース料金	21,000 円(消費税別)

・コース時間割　　時間割決定 午後コース：14 時-17 時　(「コース開催日時 ： マルチボディダイナミクスを学ぼう (2021 年 7 月～2021 年 12 月)」に掲載)。

☆上記時間帯での受講が無理な場合には、以下の時間帯での受講も可能です。ご相談下さい。

午前コース 9:00-12:00、 夕方コース 18:00-21:00

・講師 ： 清水信行 (いわき明星大学名誉教授、アジアマルチボディダイナミクス会議初代会長)、 他

コースの組み立て:

(a) MBD を学ぶための基礎準備コース
- ・A コース; マルチボディダイナミクスのための基礎数学 (初・中級)
- ・D コース; 柔軟マルチボディダイナミクスのための基礎連続体力学 (初・中級)
- ・E コース; 柔軟マルチボディダイナミクスのためのはり理論の基礎 (初・中級)

(b) 剛体 MBD を学ぶコース
- ・B コース; 剛体マルチボディダイナミクスの平面理論 (初級)
- ・C コース; 剛体マルチボディダイナミクスの 3 次元理論 (中級)

(c) 柔軟 MBD を学ぶコース
- ・F コース; FFRF による柔軟マルチボディダイナミクスの平面はり理論 (中級)
- ・G コース; ANCF による柔軟マルチボディダイナミクスの平面はり理論 (中級)
- ・H コース; GEBF による柔軟マルチボディダイナミクスの平面はり理論 (中級)

(d) 中・上級柔軟 MBD を学ぶコース
- ・I コース; 柔軟マルチボディダイナミクスの 3 次元理論 (中・上級)
- ・J コース; ひも、ロープなどの柔軟実務問題のアプローチ法と理論 (スーパー級)

(e) 機械振動を学ぶコース・・・ 新設コース (2021.04.15 以降)
- ・K コース; 機械振動の基本概念・線形周波数応答・一般応答特性 (初級)
- ・L コース; 機械振動のマトリックス理論と固有振動数・モード形状 (初・中級) ・・・ 新設コース(2021.07.01 以降)
- ・M コース; 機械振動の応答関数理論と応答計算への適用 (初・中級) ・・・ 準備中

コース内容一覧:

1. マルチボディダイナミクスのための基礎数学(A コース) (初・中級)

剛体および柔軟体のマルチボディダイナミクス学習のための数学の基礎を学ぶ。

テキスト　: pdf file にて配布

A コース 単元とタイトル	コマ 数	費用 (円)	内容 (キーワード)
A1. 数学の基礎-1 剛体 MBD の数学	3	12,000	ベクトルとマトリックス入門 ; 基準枠と座標、ベクトル、幾何ベクトルと代数ベクトル、内積、外積、基底ベクトル、マトリックス、ベクトルとマトリックスの演算と微分、例題と演習
A2. 数学の基礎-2 柔軟体 MBD の数学	3	15,000	テンソル入門 ; 基底ベクトル、2 階のテンソル、テンソル積、テンソルの線形変換、ベクトルとテンソルの不変量、正規直交テンソル、線形化と方向微分、テンソル解析、勾配と発散、積分定理、例題と演習

2. 剛体マルチボディダイナミクスの平面理論(B コース) (初級)

2 次元の平面問題のマルチボディダイナミクスの理論を学ぶ。

テキスト　: pdf file にて配布

B コース 単元とタイトル	コマ 数	費用 (円)	内容 (キーワード)
B1. 2 次元キネマティクス-1 キネマティクスの基礎	3	12,000	剛体の運動学 ; 質点の運動学、剛体の運動学、物体の座標、物体の速度、物体の加速度、座標と自由度、拘束式、いろいろなジョイント、回転ジョイント、並進ジョイント、歯車のペア、カム、例題と演習
B2. 2 次元キネマティクス-2 モデル化と定式化	3	12,000	基準枠によるジョイント拘束式の記述 ; モデル化と定式化の手順、ジョイントの種類、ジョイントの拘束方程式、回転ジョイント、並進ジョイント、駆動拘束、速度と加速度拘束のヤコビアン、機械システムのヤコビアン構成法、例題と演習
B3. 2 次元ダイナミクス-1 ダイナミクスの基礎	3	12,000	剛体の動力学 ; 質点と質点系のダイナミクス、剛体のダイナミクス、並進運動方程式、回転運動方程式、質量と慣性モーメント、作用力、力要素、反力、ラグランジュ乗数法、例題と演習
B4. 2 次元ダイナミクス-2 モデル化と定式化	3	12,000	拘束のある機械システムの運動方程式の記述 ; 拘束のない剛体、拘束された剛体、拘束のない剛体系、拘束された剛体系、機械システムの運動方程式の構成法・記述、反力、可変振り子、ピストン・クランク機構、例題と演習

3. 剛体マルチボディダイナミクスの 3 次元理論(C コース) (中級)

3 次元の空間問題に対するマルチボディダイナミクスの理論を学ぶ。

テキスト　: pdf file にて配布　(コロナ社、マルチボディダイナミクス(1)　―基礎理論―　の本に基づく)

C コース	コマ	費用	内容 (キーワード)

単元とタイトル （本の章との対応）	数	（円）	
C1. 3 次元キネマティクス-1 座標と位置 （3 章と 4 章）	3	15,000	座標と自由度および位置と姿勢 ； 座標と自由度、一般化座標、拘束、直交座標と拘束、座標変換、座標変換マトリックス、位置と位置ベクトル、回転姿勢の表現、回転の角度表現
C2. 3 次元キネマティクス-2 速度と加速度 （5 章）	3	15,000	角速度・速度および角加速度・加速度 ； 角速度、座標変換マトリックスの時間微分と角速度、角速度ベクトルの性質、速度、角速度と回転角の時間微分、角加速度
C3. 3 次元キネマティクス-3 仮想変位と拘束式 （7 章と 8 章）	3	15,000	仮想変位と変分および剛体系の拘束式 ； 仮想変位と仮想回転、速度と角速度の変分量、二つのベクトル間の拘束式、二つの物体間の拘束式、球ジョイント、回転ジョイント、絶対拘束、駆動拘束、拘束式の導関数
C4. 3 次元ダイナミクス-1 質量と慣性マトリックス （10 章）	3	15,000	力学の基本特性 ； 質量の幾何、慣性マトリックス、運動量、角運動量、力とトルク、力要素、ばね、ダンパ、アクチュエータ、接触・摩擦
C5. 3 次元ダイナミクス-2 ダランベールの原理 （11 章）	3	15,000	ダランベールの原理とラグランジュの方程式 ； 仮想仕事、仮想仕事の原理、一般化座標と一般化力、ダランベールの原理、ラグランジュの方程式、拘束のあるラグランジュの方程式
C6. 3 次元ダイナミクス-3 多体系の運動方程式 （13 章）	3	15,000	多体系の運動方程式 ； 剛体のダイナミクス、多剛体系のダイナミクス、拘束のない多剛体系、拘束のある多剛体系の変分方程式、拘束のある多剛体系の運動方程式、ラグランジュ乗数

4. 柔軟マルチボディダイナミクスのための基礎連続体力学(D コース) (初・中級)

柔軟体のマルチボディダイナミクスのための連続体力学の基礎を学ぶ。

テキスト　: pdf file にて配布　(Bonet & Wood の本に基づく)

D コース 単元とタイトル （本の章・節との対応）	コマ数	費用 （円）	内容（キーワード）
D1. 連続体力学の準備-1 キネマティクス・運動・ひずみ （3.1 節～3.9 節）	3	15,000	運動とひずみ ； 運動、物質記述と空間記述、変形勾配テンソル、ひずみ、極分解、体積変化、変形勾配のゆがみ成分、面積の変化
D2. 連続体力学の準備-2 キネマティクス・時間変化率 （3>10 節～3.15 節）	3	15,000	線形化運動学と時間変化率 ； 線形化された変形勾配、速度と物質時間変化率、変形の時間変化率、スピンテンソル、 体積の時間変化、剛体回転と客観性
D3. 連続体力学の準備-3 応力・釣り合い （4 章）	3	15,000	応力と釣り合い ； コーシー応力、釣合い、仮想仕事の原理、仕事の共役性、代替応力テンソル、応力の時間変化率、客観応力の時間変化率
D4. 連続体力学の準備-4 式の誘導と演習	3	15,000	ひずみと応力の例題と演習 ； 一軸運動、一様変形、グリーンとアルマンジひずみ、極分解、

（4 章後半）			体積成分とゆがみ成分、物質時間変化率、自重下のブロック、第 2 Piola-Kirchhoff 応力テンソルの客観性

5. 柔軟マルチボディダイナミクスのためのはり理論の基礎(E コース) （初・中級）

微小ひずみ線形はり理論の FEM による定式化の基礎と 2 次元と 3 次元モデルの実務的なはり理論を学ぶ。

テキスト　: pdf file にて配布　(鷲津の本と Kurishnamoorthy の本に基づく)

E コース 単元とタイトル	コマ 数	費用 （円）	内容（キーワード）
E1. はり理論の基礎-1 2 次元はり理論	3	12,000	2 次元はり理論 ; エネルギ法、計算例題 ; 初等はり理論、Bernoulli-Euler はり、変位法、要素剛性マトリックス、エネルギー原理による要素剛性マトリックス、レーリー・リッツ法、最小ポテンシャルエネルギの原理。 トラス要素、2 次元はり要素の剛性および質量マトリックス
E2. はり理論の基礎-2 2 次元はり理論つづき 3 次元はり理論	3	15,000	2 次元はり理論つづきと 3 次元はり理論 ; 2 次元はりの変換マトリックス、2 次元はりの計算例。 3 次元はり要素、ねじり、3 次元はり要素の剛性および質量マトリックス、3 次元はりの変換マトリックス

6. FFRF による柔軟マルチボディダイナミクスの平面はり理論(F コース) （中級）

浮動基準枠法(FFRF)による 2 次元平面はりのマルチボディ理論を学ぶ。

テキスト　: pdf file にて配布　(A.A.Shabana の本 Dynamics of Multibody Systems に基づく)

F コース 単元とタイトル （本の章・節との対応）	コマ 数	費用 （円）	内容（キーワード）
F1. FFRF によるはり-1 キネマティクス （5.1, 5.2, 5.3, 5.4 節）	3	15,000	浮動参照枠法の運動学 ; 運動学の記述、Rayleigh-Ritz 近似、浮動参照枠、速度式、加速度式、柔軟体の慣性、質量マトリックス、空間内の運動、平面運動、集中質量、一般化力、一般化弾性力、一般化外力、運動学的拘束、中間ジョイント座標
F2. FFRF によるはり-2 ダイナミクス （5.5, 5.6, 57, 5.8, 5.9, 5.10 節）	3	15,000	浮動参照枠法の動力学 ; 運動方程式、2 次速度ベクトル、一般化ニュートン・オイラー方程式、基準変位と弾性変位の連成、慣性形状積分、弾性動力学理論、変形可能な物体の軸、形状関数、応用例、仮定変位場、連接棒、未定乗数を用いた動的方程式、数値手順、一般化座標分割法、独立座標と従属座標、埋め込み技法

7. ANCF による柔軟マルチボディダイナミクスの平面はり理論(G コース) （中級）

絶対節点座標法(ANCF)による 2 次元平面せん断はりの理論を学ぶ。

テキスト　: pdf file にて配布　(Shabana の本と Nachbagauer らの論文に基づく)

G コース 単元とタイトル	コマ 数	費用 （円）	内容（キーワード）
G1. ANCF によるはり-1	3	15,000	絶対節点座標法(ANCF)の考え方 ;

基本理論			絶対座標、運動エネルギーと質量マトリックス、変形、はり理論、Bernoulli-Euler はり、Timoshenko はり、アイソパラメトリック、剛性マトリックスの定式化、運動方程式、一般化外力、FFRF との関係、整合質量、速度変換、例題と演習
G2. ANCF によるはり-2 構造問題への定式化	3	15,000	非線形の構造棒理論と ANCF ; FEM アイソパラメトリック、はりの軸座標と横座標に対する導関数、節点変位の ANCF、形状関数、ひずみエネルギー、変形勾配テンソル、一般化弾性力、剛性マトリックス、Reissner、Simo、Vu-Quoc に基づく定式化、数値例題、3 次元への発展

8. GEBF による柔軟マルチボディダイナミクスの平面はり理論(H コース) (中級)

Simo の幾何学的に厳密なはりの定式化法(GEBF)による 2 次元平面せん断はりの理論を学ぶ。

テキスト : pdf file にて配布 (Simo の 2 次元柔軟はりの論文の Part 1 と Part 2 に基づく)

H コース 単元とタイトル	コマ数	費用 (円)	内容 (キーワード)
H1. GEBF によるはり-1 基礎理論	3	15,000	幾何学的に厳密なはりの定式化法(GEBF)の考え方 ; 微小ひずみ古典理論、浮動枠法; 基礎運動学的仮定、ポテンシャルエネルギー、運動エネルギー、運動方程式、慣性項の連成。 提案 GEBF; 基本運動学的仮定、運動エネルギー、ポテンシャルエネルギー、運動方程式、非連成慣性項
H2. GEBF によるはり-2 弱形式による数値計算法	3	15,000	数値解析法 ; Galerkin 法、運動方程式の弱形式、空間離散化、時間ステップ法、時間離散化、陰解法、陽解法、数値シミュレーション、ロボットアームの例、flying spaghetti の例、マルチボディダイナミクスの例、スピンアップ操作、片持ちはりの減衰有限振動

9. 柔軟マルチボディダイナミクスの 3 次元理論・その 1 (I コース) (中・上級)

3 次元マルチボディダイナミクス問題における Simo の幾何学的に厳密なはり理論を学ぶ。

テキスト : pdf file にて配布 (Simo の 3 次元柔軟はりの論文の Part 1 と Part 2 に基づく)

I コース 単元とタイトル	コマ数	費用 (円)	内容 (キーワード)
I 1. Simo 理論の 基礎理論	3	18,000	Simo 理論の基本的な考え方とその理論 ; はりの基礎運動学、移動基底、移動基底の導関数、運動、線及び角運動量、力とトルク、運動方程式、物質記述、内部パワー、ひずみ計量、構成方程式、変形勾配、線運動量と回転運動量、力とモーメント、運動量のつり合い方程式、例題と演習
I 2. Simo 理論の 弱形式による数値計算	3	18,000	FEM による数値計算法と数値例 ; 有限ひずみはり理論のまとめ、物質記述と空間記述、許容変分、整合線形化、ひずみの線形化、はり釣り合い方程式の弱形式、接線オペレータ、有限要素による定式化。 数値例題 ; 片持ちはりの純曲げ、円弧アーチの点荷重など

10. 要望コース(Jコース) (スーパー級)

ひも、ロープなどの柔軟実務問題のアプローチ法を柔軟マルチボディダイナミクスの理論を通して講義と質疑応答形式で学ぶ。社内で抱えている問題解決に適切です。ものづくりの数値解析技術支援に最適です。

要望に応じて個別開催を行います。技術ノウハウの観点から企業単独での実施を基本とします。　場合によって、問題を一般化して、複数企業の技術者の参加を可能とするか否かは、要望するコース設定の提案受講者の希望を優先いたします。　3コマ　3時間　21,000円

11. 機械振動の基本概念・線形周波数応答・一般応答特性 (初級)

機械振動の解析法学習のための準備として基礎事項;　基本概念、線形周波数応答、一般応答特性、などを学ぶ。

テキスト ：pdf file にて配布 (オーム社、機械振動の解析と計算　D.E.Newland 著、清水信行訳　の本に基づく)

Kコース　単元とタイトル (使用する本のページ)	コマ数	費用(円)	内容 (キーワード)
K1. 基本的な概念 (1～16)	3	12,000	1自由度振動系の基本的な概念 ; 1自由度に対する一般解、定常調和応答、周波数応答関数の部分分数展開、負の振動数、根軌跡線図、インパルス応答、繰り返し固有値となる特別な場合、例題と演習
K2. 線形振動系の周波数応答-1 基礎的な理論 (17～37)	3	12,000	周波数応答関数の基礎理論 ; 周波数応答関数の一般形、振動絶縁の例、対数および極表示、一般的な部分分数展開、複素固有値の場合の展開、無減衰応答の数値例題
K3. 線形振動系の周波数応答-2 発展的な応用 (37～55)	3	12,000	周波数応答関数の応用 ; 数値例題; 無減衰応答のモード形状、減衰応答、減衰応答の対数と極座標、繰り返し固有値がある場合の部分分数展開、複合系の周波数応答、例題
K4. 振動応答の性質-1 基礎的な理論 (57～77)	3	12,000	振動応答の用語と基礎理論 ; 周波数応答関数に関する用語、対数応答線図、りセプタンス、モビリティ図、減衰の指標、対数減衰率、バンド幅、エネルギー逸散、モードエネルギー
K5. 振動応答の性質-2 減衰を含む振動と発展理論 (77～98)	3	12,000	減衰系の振動応答と発展理論 ; 比例エネルギー損失、粘弾性要素の損失角、ヒステリシス減衰を有する強制調和振動、数値例題、共振振動の成長する時間、共振点通過加速度

12. 機械振動のマトリックス解析と固有解析 (初・中級) ・・・ 新設コース (2021.07.01)

機械振動の解析法の学習としてマトリックス解析と固有解析を学ぶ。

テキスト ：pdf file にて配布 (オーム社、機械振動の解析と計算　D.E.Newland 著、清水信行訳　の本に基づく)

Lコース　単元とタイトル (使用する本のページ)	コマ数	費用(円)	内容 (キーワード)
L1. マトリックス解析 マトリックス法による応答解析 (99～125)	3	15,000	マトリックス法による応答解析 ; 運動方程式の 1 階表示、特性方程式の固有値、具体的な固有値の求め方、固有ベクトル、正規座標、任意励振に対する一般解、連成2階方程式の場合、高階方程式の場合、例題と演習

L2. 固有解析-1 保存系の固有振動数とモード形状 （127～150）	3	15,000	保存系の固有振動数とモード形状 ； 保存系の固有振動数とモード形状の一般導出法、固有振動数とモード形状の意味、保存系、無減衰自由振動の例、背の高い煙突の曲げ振動の例、ディーゼル・発電機のねじり振動の例
L3. 固有解析-2 非保存系の固有振動数とモード形状の基礎 （151～169）	3	15,000	非保存系の固有振動数とモード形状の基礎 ； 非保存系、減衰のある自由振動の例、複素固有値と固有ベクトルの解釈、背の高い煙突の減衰振動の例
L4. 固有解析-3 非保存系の固有振動数とモード形状の発展 （169～184）	3	15,000	振動系と周波数応答関数の発展 ； 鉄道台車の運動のモデル化と定式化、鉄道台車の運動の固有値と運動モード、運動の安定性と物理的な解釈、精度のチェック

13. 機械振動の応答関数法の理論と応用（初・中級）　（予定）準備中

機械振動の解析法の学習として応答関数法とその適用法を学ぶ。

テキスト　: pdf file にて配布　(オーム社、機械振動の解析と計算　D.E.Newland 著、清水信行訳　　の本に基づく)

M コース　単元とタイトル （使用する本のページ）	コマ数	費用（円）	内容（キーワード）
M1. 応答関数法-1 モード法による周波数応答関数 （239～256）	3	15,000	モード法による周波数応答関数 ； 多次元の 2 階微分方程式の一般応答、分割固有ベクトルマトリックスの性質、周波数応答関数マトリックス、周波数応答関数の計算、ねじり系の周波数応答関数
M2. 応答関数法-2 直接法による周波数応答関数 （257～273）	3	15,000	直接法による周波数応答関数 ； 周波数応答関数マトリックスを計算する別の方法、インパルス応答関数マトリックス、ねじり系のインパルス応答関数、マトリックス指数関数、一般的な応答方程式への適用
M3. 応答関数法の適用 （275～300）	3	15,000	応答関数の適用 ； フーリエ変換、デルタ関数、畳み込み積分、単位ステップと単位パルス応答、ねじり系のステップ応答、時間領域から周波数領域への変換、入出力の関係式、周期励振の場合、数値例題